



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

LUCAS DURÃES BEZERRA

**ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA CONSTRUÇÃO ENXUTA: estudo de caso em
um empreendimento residencial**

Recife

2021

LUCAS DURÃES BEZERRA

**ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA CONSTRUÇÃO ENXUTA: estudo de caso em
um empreendimento residencial**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Gerência de Produção.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Luciana Hazin Alencar

Recife

2021

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

B574a Bezerra, Lucas Durães.
Análise da implementação da construção enxuta: estudo de caso em um empreendimento residencial / Lucas Durães Bezerra. - 2021.
114 f.; il., abr. e sigl.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Hazin Alencar.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Construção enxuta. 3. Planejamento.
4. Gerencial. I. Alencar, Luciana Hazin (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG / 2022-225

LUCAS DURÃES BEZERRA

**ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA CONSTRUÇÃO ENXUTA: estudo de caso em
um empreendimento residencial**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Gerência de Produção.

Aprovado em: 29/12/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Luciana Hazin Alencar (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dr^ª. Caroline Maria de Miranda Mota (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dr^ª. Pâmela Adelino Ramos Albertins (Examinadora Externa)
Universidade Federal da Paraíba

AGRADECIMENTOS

A todo corpo docente do curso de Mestrado Profissional de Engenharia de Produção da UFPE – PPGEP, pela paciência, dedicação, compreensão com os alunos e contribuição pela minha formação acadêmica.

Em especial, à minha orientadora Prof. Dra. Luciana Hazin Alencar por todo apoio, paciência, instrução e conhecimento compartilhado ao longo da minha jornada no desenvolvimento deste trabalho. Meu muito obrigado.

Aos meus colegas de turma pela troca de conhecimento, aprendizado e colaboração mútua em todas as etapas.

A empresa na qual eu atuo e desenvolvi esta dissertação, com ajuda e participação de colaboradores e parceiros. Meu agradecimento por acreditar e apostar no meu potencial para desenvolvimento deste trabalho.

A empresa parceira e seus colaboradores da Aval Engenharia, contribuindo com o fornecimento de vários materiais técnicos, discussões e ideias para elaboração deste trabalho.

Aos amigos, colegas e familiares que me incentivaram a persistir e acreditar na formação acadêmica aplicada à difícil rotina de trabalho.

Por último, um agradecimento excepcional à minha esposa, pela compreensão e suporte em todos os momentos nos quais estive ausente, aos meus pais que sempre me incentivaram e cultivaram a importância da educação e formação da minha vida acadêmica e aos meus irmãos que são minhas duas fontes de inspiração.

RESUMO

Este trabalho busca apresentar soluções adotadas desde a etapa de desenvolvimento do planejamento até a execução de obras de um empreendimento residencial localizado na cidade de Recife-PE, incorporando, também, o desenvolvimento de uma metodologia gerencial baseada em indicadores monitorados durante a construção através de diversos relatórios e *dashboards* gerenciais. Com base nos princípios da Construção Enxuta, foram utilizadas ferramentas e conceitos que pudessem proporcionar redução de perdas de materiais e melhoria da produtividade no canteiro de obras, bem como possibilitar cumprimento de prazos, custo do empreendimento e melhoria da organização e operação do canteiro de obras. Num cenário econômico bastante competitivo, o presente trabalho utiliza-se da Construção Enxuta como possível solução para obtenção de melhores resultados financeiros e operacionais. Através da implantação da filosofia enxuta desde a concepção do projeto, utilizou-se conceitos, ferramentas de planejamento, métodos e materiais construtivos e metodologia BIM atrelados aos princípios do *Lean Construction* para conseguir atingir uma redução de custos de 2%, diminuição de despesas com logística interna através da redução de pacotes de trabalho em relação a empreendimentos executados anteriormente, uma adesão de 96% em relação ao cronograma de avanço físico da obra e índice de conformidade dos serviços controlados inspecionados acima de 99%, atingindo metas do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) da organização.

Palavras-chave: construção enxuta; planejamento; gerencial.

ABSTRACT

This work seeks to present solutions adopted from the planning development stage to the execution of works of a residential project located in the city of Recife-PE, also incorporating the development of a management methodology based on indicators monitored during construction through various management reports and dashboards. Based on the principles of Lean Construction, tools and concepts were used that could reduce material losses and improve productivity at the construction site, as well as enable compliance with deadlines, project cost and improve the organization and operation of the construction site. In a very competitive economic scenario, the present work uses Lean Construction as a possible solution, to obtain better financial and operational results. Through the implementation of the lean philosophy since the project conception, concepts, planning tools, construction methods and materials and BIM methodology were used, linked to the Lean Construction principles to achieve a 2% cost reduction, reduced logistics expenses internal through the reduction of work packages in relation to previously executed projects, an adherence of 96% in relation to the physical progress schedule of the work and a compliance rate of inspected controlled services above 99%, reaching goals of the Quality Management System (QMS) of the organization.

Keywords: lean construction; planning; management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 –	As dez principais causas, compiladas dos autores pesquisados	16
Figura 1 –	Variações do PIB nacional em comparação com a construção civil	19
Figura 2 –	Modelo tradicional dos processos	23
Figura 3 –	Modelo de processo <i>Lean Construction</i>	24
Figura 4 –	Casa do Sistema Toyota de Produção	25
Figura 5 –	Ilustração do conceito de planejamento e controle <i>just-in-time</i>	26
Figura 6 –	(a) Fluxo tradicional e (b) <i>Just-in-time</i> entre estágios	27
Figura 7 –	Ciclo PDCA e suas etapas	31
Figura 8 –	Evolução estável (padrões) x instabilidade (sem padrões)	31
Figura 9 –	Diferentes níveis da Construção Enxuta	37
Figura 10 –	Linha de tempo de produção	38
Quadro 2 –	Princípios da Mentalidade Enxuta, elementos fundamentais e exemplos	40
Figura 11 –	Método <i>Last Planner</i> : principais características de cada nível hierárquico	47
Figura 12 –	Pacotização de trabalho (células de produção)	49
Figura 13 –	Visualização do fluxo de execução de atividades na LOB	51
Figura 14 –	Proposta de implantação da <i>Lean Construction</i> neste empreendimento	61
Figura 15 –	<i>Layout</i> da etapa de execução de fundação	63
Figura 16 –	<i>Layout</i> da etapa de verticalização da construção	63
Figura 17 –	<i>Layout</i> da etapa de final de obra	64
Figura 18 –	Pacote de trabalho de alvenaria periférica	65
Figura 19 –	Divisão da execução das fundações por células de produção	66
Figura 20 –	Linha de Balanço - 16º mês de execução do empreendimento	67
Figura 21 –	<i>Weekly Work Plan</i>	68
Figura 22 –	Modelo estrutural do empreendimento	70
Figura 23 –	Projeto de estrutura e instalações hidráulicas	70
Figura 24 –	Ambiente colaborativo <i>BIM collab</i>	71
Figura 25 –	Armazenamento, recebimento e transporte de argamassa estabilizada	72
Figura 26 –	Fluxo do processo de produção de argamassa tradicional	72
Figura 27 –	Composição de custos: argamassa estabilizada x tradicional	74
Figura 28 –	Projeto de produção da empresa fornecedora dos kits hidráulicos	75
Figura 29 –	Modelo de Chassi Hidráulico para os <i>shafts</i>	76
Figura 30 –	Ilustração da maneira como o material deve ser entregue	77

Figura 31 –	Sistema tradicional x sistema racionalizado de alvenaria de vedação	77
Figura 32 –	Pátio de armazenamento de blocos cerâmicos em <i>pallets</i>	78
Figura 33 –	Quantidade exata de material para produção de cada lote de trabalho	79
Figura 34 –	Distribuição de material	80
Quadro 3 –	Composição de custos - obra convencional (x) e obra racionalizada (y)	81
Figura 35 –	Identificação e armazenamento do aço em obra	82
Figura 36 –	Quadro de gestão à vista	83
Figura 37 –	Controle de estoque exposto e atualizado diariamente	84
Figura 38 –	Quadros à vista	84
Figura 39 –	Detalhe de montagem de uma viga com forma pronta	86
Figura 40 –	Quadro <i>Heijunka Box</i>	87
Figura 41 –	Cartões <i>Kanban</i>	88
Figura 42 –	Execução de um dos serviços controlados pelo SQG do empreendimento	89
Figura 43 –	Indicador monitorado periodicamente pela Gestão da Qualidade	90
Figura 44 –	Painel <i>Andon</i> instalado na sala de engenharia	91
Figura 45 –	Painel instalado em cada pavimento	92
Figura 46 –	Estação instalada com chips conectados ao servidor	93
Figura 47 –	Fluxo de funcionamento de informações na estação de trabalho	93
Quadro 4 –	Princípios <i>Lean</i> x Processos	94
Figura 48 –	Painel do <i>Master Planning</i>	95
Figura 49 –	Painel do <i>Lookahead Schedule</i> com metas definidas para médio prazo	96
Figura 50 –	Painel de monitoramento das restrições cadastradas para médio prazo	97
Figura 51 –	Painel do planejamento de curto prazo - <i>Weekly Work Plan</i>	97
Figura 52 –	Painel de análise semestral do indicador de IRR	98
Figura 53 –	Painel de análise global do IDP do empreendimento	99
Figura 54 –	Painel de análise de custos do empreendimento	100
Figura 55 –	<i>Dashboard</i> de inspeções da construção do empreendimento	102
Figura 56 –	<i>Dashboard</i> de controle dos pacotes de serviços	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	Associação Brasileira do Consumidor
BIM	<i>Building Information Model</i>
IDC	Índice de Desenvolvimento de Custos
IDP	Índice de Desenvolvimento de Prazo
IRR	Índice de Remoção de Restrições
LOB	<i>Line of Balance</i>
PPC	Percentual de Pacotes Concluídos
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
STP	Sistema Toyota de Produção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	14
1.3	OBJETIVOS DO TRABALHO	18
1.3.1	Objetivo geral	18
1.3.2	Objetivos específicos	18
1.4	IMPACTO ECONÔMICO E SOCIAL	19
1.5	PRODUTO TÉCNICO OU TECNOLÓGICO	20
1.6	METODOLOGIA	21
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	CONSTRUÇÃO ENXUTA E SUA ORIGEM	23
2.1.1	<i>Just-in-time</i>	26
2.1.2	<i>Jidoka</i> (autonomação)	28
2.1.3	<i>Heijunka</i>	28
2.1.4	Padronização	29
2.1.5	<i>Kaizen</i>	30
2.1.6	Produção Puxada	32
2.1.7	<i>Poka-Yoke</i>	33
2.1.8	<i>Takt-time</i>	33
2.1.9	As sete perdas do STP	34
2.2	PENSAMENTO ENXUTO (<i>LEAN THINKING</i>)	38
2.2.1	Princípios do Pensamento Enxuto	39
2.3	PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA	41
2.3.1	Reduzir a parcela de atividades que não agrega valor	41
2.3.2	Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes	41
2.3.3	Reduzir a variabilidade	42

2.3.4	Reduzir o tempo de ciclo de produção	42
2.3.5	Simplificar através da redução do número de passos ou partes	43
2.3.6	Aumentar a flexibilidade na execução do produto	43
2.3.7	Aumentar a transparência do processo	43
2.3.8	Focar o controle no processo global	44
2.3.9	Introduzir melhoria contínua no processo	44
2.3.10	Manter o equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões	45
2.3.11	Fazer <i>benchmarking</i>	45
2.4	CONSTRUÇÃO ENXUTA NA CONCEPÇÃO DO PROJETO	45
2.4.1	Planejamento e orçamento	45
2.4.2	Pacotização de trabalhos	48
2.4.3	Linha de Balanço	50
2.4.4	BIM – <i>Building Information Model</i>	51
2.5	REVISÃO DA LITERATURA	52
2.5.1	Uso do BIM	54
2.5.2	Estudos com ferramentas e metodologias da Construção Enxuta	55
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	57
3	ESTUDO DE CASO	59
3.1	DESCRIÇÃO DA EMPRESA	59
3.2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	60
3.3	PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO	61
3.3.1	<i>Layouts</i>	62
3.3.2	Planejamento e orçamento <i>Lean</i>	65
3.3.3	Modelagem BIM	68
3.3.4	Ferramentas, materiais e práticas de execução enxuta	71
3.3.4.1	Argamassa estabilizada	71
3.3.4.2	Kits hidráulicos	74
3.3.4.3	Alvenaria racionalizada	77
3.3.4.4	Aço C&D	81

3.3.4.5	Gestão à vista	82
3.3.4.6	Projeto de fôrma pronta	84
3.3.4.7	<i>Heijunka Box e Kanban</i>	86
3.3.4.8	SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade	88
3.3.4.9	<i>Andon</i>	91
3.3.5	Análise de resultados e indicadores de desempenho	94
3.3.5.1	IRR – Índice de Remoção de Restrições	98
3.3.5.2	IDP – Índice de Desenvolvimento de Prazo	98
3.3.5.3	IDC – Índice de Desenvolvimento de Custos	99
3.3.5.4	Índice de não conformidade	101
3.3.5.5	PPC – Percentual de Pacotes Concluídos	102
3.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	103
4	CONCLUSÕES	105
4.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
4.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	106
	REFERÊNCIAS	108

1 INTRODUÇÃO

Neste Capítulo, serão desenvolvidas a contextualização, a justificativa e a relevância do tema para a indústria da construção civil, bem como explicitados os objetivos, o impacto econômico e social, o produto técnico desenvolvido, a metodologia e a estruturação do trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A indústria da construção civil contribui com valores significativos para a economia do Brasil. No entanto, o setor tem sofrido pressões internas e externas como crise financeira, escassez de obras e o aumento da importância da qualidade por parte dos clientes. Assim, as empresas estão buscando novas soluções para melhorar a competitividade através da utilização de diferentes práticas de planejamento e gerenciamento para melhorar o desempenho operacional (AL-AOMAR, 2012).

No contexto brasileiro, a baixa produtividade, a baixa eficiência e o elevado número de desperdícios na construção civil são históricos. Normalmente, os valores relativos aos desperdícios gerados são repassados para os clientes, sob a justificativa da alta rotatividade e a baixa qualificação da mão de obra (PRADO; CALDERARO; PIRAN, 2019).

De acordo com Peretti, Faria e Santos (2013), a construção civil vem em busca de novas formas de gerenciar sua produção, tendo em vista as crescentes exigências pela redução do ciclo dos empreendimentos e também dos custos associados aos mesmos, além da melhoria da qualidade e produtividade. O desenvolvimento de conceitos de gestão da produção aplicados à construção civil vem se adequando às necessidades com o paradigma da Manufatura Enxuta. Dessa forma, Koskela (1992) apresentou ao setor da construção civil a possibilidade da utilização de uma-filosofia de produção, denominada Construção Enxuta (*Lean Construction*).

Conforme Lorenzon (2008), a organização e a gestão da produção passaram a ter importância fundamental no controle de custos, na eliminação de desperdícios e na manutenção do prazo de entrega dos empreendimentos.

Para reduzir estes desperdícios e diminuir a sua vulnerabilidade no mercado interno, as empresas de construção civil têm apostado em aspectos como a sustentabilidade, a busca pela melhoria na competitividade e qualidade, entre outros, de modo a assegurar a sua sobrevivência e crescimento. Apesar de todos os esforços, estudos mostram que a taxa de falência das empresas de construção civil chegou a 21% em 2012 (SEBRAE, 2016).

Dentre as várias alternativas como modelo para a organização e gestão da produção na construção civil, destaca-se a Construção Enxuta, conforme acima mencionado. Com o intuito

de promover tal mudança e buscar a melhoria contínua em seus processos produtivos, muitas empresas têm direcionado seus esforços para a implantação de princípios provenientes do *Lean Production*, ou Produção Enxuta, em seus sistemas produtivos, que se consolidou como exemplo de produção eficiente através da Toyota Motor Company.

Devido aos princípios de gerenciamento tradicionais na construção civil, as atividades de fluxo normalmente não têm sido melhoradas ou controladas. Isto tem levado a um complexo, incerto e confuso processo de fluxo nos canteiros de obras e, conseqüentemente, ao aumento de atividades que não agregam valor e redução do valor final dos produtos (KOSKELA, 1992).

De acordo com Conte e Gransberg (2002), em construção, a aplicação do modelo de produção enxuta decorre de uma discussão da obra de Koskela (1992), que enfatizou a importância do fluxo do processo de produção, bem como aspectos relacionados com a conversão de insumos em produtos acabados como um elemento importante para reduzir o valor desperdiçado em canteiros de obras. A produção deve ser vista como um fluxo que gera valor através de meio de conversão, caracterizada por custo, prazo e valor agregado. Nesse aspecto, é imprescindível adotar atitudes de gestão capazes de melhorar o ambiente operacional, reduzindo a variabilidade de produção e aumentando significativamente a confiabilidade das fases de planejamento de produção, incluindo a logística do trabalho interno.

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O cenário atual do mercado imobiliário brasileiro vem se comportando de forma bastante dinâmica. Sucessivas crises e oscilações vêm fazendo parte das rotinas das empresas do setor. Segundo a CBIC (2016), desde 2011 houve uma desaceleração do crescimento setorial. E, uma vez que o mercado da construção reaqueça, a obtenção de ganhos adquiridos através da melhoria de produtividade e da redução de desperdício do setor pode ser uma das maneiras mais sustentáveis para o crescimento das organizações. Entende-se por produtividade a relação entre entradas (recursos) e saídas (produto produzido). Portanto, elevar a produtividade significa obter uma produção mais elevada para uma dada quantidade de recursos empregados ou, de outra maneira, empregar menos recursos para uma dada produção.

Além disso, de acordo com a CBIC (2016), de 2007 a 2012, a produtividade média de cada trabalhador da indústria da construção caiu a uma taxa de 0,2% ao ano. Neste aspecto, a atenção se volta para o canteiro de obras, pois é lá onde se concretizam os avanços na produtividade e outras questões ganham suas devidas importâncias: o planejamento e gestão efetiva dos processos produtivos, o emprego de novas tecnologias e a qualificação dos trabalhadores.

O principal objetivo da Construção Enxuta é a eliminação dos desperdícios na produção de um bem ou serviço. Melo (2012) estima que cerca de 70% do tempo gasto pelos trabalhadores em um canteiro de obras está nas operações que não agregam valor, como transporte, espera por material, retrabalhos, entre outras.

Junto a isso, diversas mudanças comportamentais e novos hábitos e tendências da sociedade estão fazendo com que os projetos sejam adaptados a essa nova realidade de consumo. Espaços compartilhados, conexão com aplicativos, novos conceitos de moradia, meios de locomoção alternativos e *designs* inovadores fazem com que projetos atuais sejam mais desafiadores.

Somando-se aos fatos acima expostos, tem-se um mercado de alta concorrência e com um nível de exigência e atendimento a normas técnicas cada vez maior. A disponibilização de informações de maneira fácil e prática faz com que o cliente final se torne um consumidor mais instruído, informado e rigoroso na compra do seu produto.

Para a sobrevivência das organizações diante de um cenário tão competitivo e dinâmico, é necessário que haja uma mudança no paradigma como as obras estão sendo projetadas, planejadas e executadas. Conforme Slack, Chambers e Johnston (2002), é através de um bom controle na gestão dos processos produtivos e planejamento que pode ser decidido o melhor emprego dos recursos de produção, assegurando a execução conforme planejamento estratégico organizacional.

De acordo com Alvarenga, Silva e Mello (2017), o Brasil tem uma necessidade urgente de aumentar a produtividade no setor da construção civil. Para isso, as empresas precisam adotar um programa com diversas melhorias coordenadas com o objetivo de trazer a construção civil para um nível satisfatório de eficiência. Dentre elas, a filosofia *Lean Construction* e o uso do BIM (*Building Information Modeling*).

Para atendimento aos níveis de serviço de cliente, projetos devem estar adequados às novas necessidades, entregues dentro do prazo e com qualidade na entrega final ao consumidor.

Conforme Filippi e Melhado (2015), através do estudo para uma pesquisa analítica em 32 obras imobiliárias executadas na região metropolitana de São Paulo, de 2007 a 2014, observou-se que os principais casos de atraso de obra parecem estar relacionados muito mais às questões internas de organização e gestão dentro do canteiro de obras do que a fatores externos, como variações de mercado, oscilações climatológicas, problemas com fornecedores, entre outros, o que reforça ainda mais a importância de investimento e desenvolvimento em metodologias de melhoria de gestão e planejamento de obras.

Entre 2005 e 2010, por exemplo, segundo a Associação Brasileira do Consumidor (ABC), os atrasos em obras no estado de São Paulo cresceram cerca de 65%, representando uma alta demanda de ações de clientes contra as construtoras. De acordo com o quadro abaixo, pode-se identificar como 1º colocado no ranking a má gestão e a organização das equipes nos canteiros de obras como sendo o fator de maior frequência para causa de atraso na entrega de obras ao cliente final.

Quadro 1 – As dez principais causas, compiladas dos autores pesquisados

Ranking	Nº Obras Verificado	Descrição das Causas de Atrasos mais Comuns	Grupo	Frequência
1º	20	- Má gestão ou supervisão (organização da equipe) no canteiro	5	62,5%
2º	18	- Interferência dos subempreiteiros ou trabalho inadequado	5	56,3%
3º	16	- Atrasos nos trabalhos de subempreiteiros (ou terceiros)	5	50,0%
3º	16	- Escassez de MDO (fornecimento de MDO)	7	50,0%
5º	15	- Planejamento do projeto malfeito ou programações ineficazes	5	46,9%
5º	15	- Baixo nível de produtividade da MDO (fraca execução)	7	46,9%
7º	14	- Atraso ou baixa mobilização de MDO no canteiro	5	43,8%
7º	14	- Retrabalho devido a erros durante a construção	5	43,8%
9º	13	- Atraso na entrega de material	6	40,6%
9º	13	- Conflitos nas programações dos subempreiteiros	5	40,6%
11º	12	- Revisão do progresso físico inadequado	5	37,5%
12º	11	- Inexperiência do empreendedor como contratante	2	34,4%
12º	11	- Interferências do empreendedor ou proprietário nas operações	2	34,4%
14º	10	- Tempo/condições meteorológicas (calor, chuva, etc.)	10	31,3%

Fonte: Filippi e Melhado (2015)

Diante dos desafios acima mencionados, optou-se pela utilização da filosofia do *Lean Construction* para superar parte dos obstáculos durante o desenvolvimento do projeto em análise. Práticas relacionadas à Construção Enxuta foram incorporadas desde esta etapa como conceitos relacionados a pacotes de serviço, desenvolvimento de logística, linha de balanço, *Last Planner*, entre outros que serão abordados ao longo deste trabalho.

A análise da implementação dessas práticas e os resultados e benefícios gerados para o desenvolvimento do projeto em estudo proporcionou à empresa incorporar esse novo processo de gerenciamento de obras e buscar melhorias futuras para o amadurecimento da filosofia e práticas *Lean*.

Foram detectadas dificuldades em empreendimentos anteriormente monitorados no acompanhamento e no gerenciamento do planejamento, bem como na avaliação financeira no que diz respeito à identificação e ao cumprimento de custos por item de orçamento, principalmente do controle da mão-de-obra. A falta de um planejamento desagregado em etapas menores impedia uma supervisão em horizontes de curto e médio prazo para controle de

cronograma e custos, além de dificultar o estabelecimento de metas para equipes de produção, fazendo com que ações para essas melhorias tivessem um prazo para aplicação muito longo.

A importância da adoção desses processos desde a concepção do empreendimento fez com que a empresa pudesse enxergar possibilidades para o cumprimento de metas estabelecidas e viabilidade para execução e comercialização do empreendimento, utilizando indicadores mais arrojados e ferramentas disponíveis na Construção Enxuta.

O planejamento de obra e da produção tem utilizado os benefícios de programação com base em ritmo de trabalho, como é o caso das linhas de balanço, e a adoção de ferramentas de aumento da aderência da produção semanal em relação às suas metas de curto prazo, baseado na técnica do *Last Planner*, ferramenta que tradicionalmente caracteriza a utilização do *Lean Construction* em obras ao redor do mundo. Essas técnicas contribuem para a estabilização do ambiente operacional e reduzem a variabilidade das operações na medida em que se torna possível a identificação imediata de eventuais desvios em relação aos planos semanais de produção, proporcionando foco e tempo para que ações corretivas surtam o efeito desejado, sem comprometer o resultado global do empreendimento.

Com o objetivo de evoluir também na gestão de resultados, a aplicação das ferramentas foi direcionada para uma coleta de dados mais eficiente e assertiva que pudesse retratar a realidade dos empreendimentos em termos de qualidade, custo e prazo, fazendo com que os gestores tivessem um fluxo de trabalho reduzido para obtenção dos indicadores de desempenho traçados pela organização.

A mudança de postura necessária, priorizando o processo de planejamento antes de iniciar os processos de contratação e execução, permite exercitar toda a expertise da empresa no sentido de buscar a melhor solução para o empreendimento a tempo de permitir que a construtora possa ainda interferir nos processos de concepção e na definição de execução de serviços e contratação da cadeia de suprimentos. Na verdade, o empreendimento passa a ter um conjunto de documentos, que denominamos Planejamento Executivo do Empreendimento, o qual reflete o melhor entendimento da empresa no início da condução daquele projeto. Assim, a empresa passa a utilizar sua expertise como vantagem competitiva em relação aos

concorrentes e consolida a posição de seus objetivos almejados (CONTE; GRANSBERG, 2002).

Ainda de acordo com Conte e Gransberg (2002), através da implantação da filosofia *Lean Construction*, podemos obter reduções drásticas de custos de logística interna, supervisão e controle de qualidade, requisitos de segurança do trabalho e demanda de materiais.

Para que houvesse um ambiente favorável à implantação dessas práticas também foram desenvolvidos projetos de *layout* de canteiro de acordo com as etapas da evolução da obra. Além de proporcionar uma melhoria no controle de estoques, organização e fluxo de materiais, um bom *layout* aplicado à realidade da obra pode proporcionar uma melhoria operacional e um ambiente com maior segurança para circulação de colaboradores e visitas externas.

Segundo Muhammad et al (2019), o planejamento de *layout* de canteiro é uma atividade crucial que influencia o sucesso do projeto. Atualmente, o conceito de *layout* de projeto otimizado surge com resultados de ferramentas de execução e técnicas que a disciplina de projeto de construção de *layout* fornece.

1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo é desenvolver um processo de gerenciamento para ser utilizado na empresa através da introdução da implantação dos princípios e ferramentas da Construção Enxuta e seus principais objetivos desde a etapa de concepção do projeto até sua entrega final, visando um melhor resultado financeiro e operacional para a organização através de um estudo de caso.

1.3.2 Objetivos específicos

- Contextualizar o atual cenário da organização e os desafios do projeto em estudo;
- Apresentar os princípios da gestão da produção que compõem a filosofia do *Lean Construction* bem como as ferramentas adotadas, além de descrever a importância da presença da filosofia nas etapas de concepção, execução e entrega do projeto;
- Analisar práticas desenvolvidas para implementação da Construção Enxuta no canteiro de obras;
- Realizar uma análise de indicadores com os dados obtidos a partir da implantação do gerenciamento proposto.

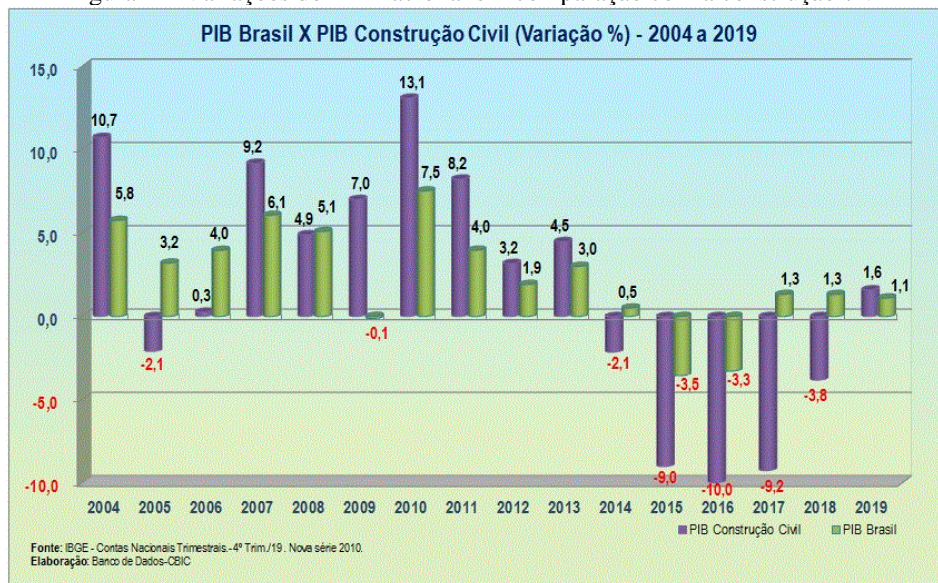
1.4 IMPACTO ECONÔMICO E SOCIAL

Além dos benefícios acima citados, as organizações que implementam a Construção Enxuta visam obter um melhor resultado financeiro dos seus empreendimentos, aumentando, assim, sua competitividade e continuidade no mercado.

Segundo Teixeira e Carvalho (2005), a forte interligação por trás da indústria da construção com outras atividades permite classificá-la como um setor-chave para a economia brasileira. Além disso, a construção civil é uma atividade que complementa a base produtiva e cria externalidades positivas que aumentam a produtividade dos fatores de produção e incentivam as iniciativas privadas, sendo de importância estratégica para a sustentação do desenvolvimento econômico e social brasileiro.

Verificando a importância econômica do setor para economia brasileira, é relevante destacar o comportamento do PIB nacional frente às variações do PIB da construção civil, conforme Figura 1.

Figura 1 – Variações do PIB nacional em comparação com a construção civil



Fonte: CBIC (2016)

De acordo com Antunes et al (2008), as margens de lucro de um produto dependem, rigorosamente, da racionalização dos custos de produção. Ou seja, o aumento dos lucros deve ser feito através da redução dos custos, uma vez que os preços de venda são fortemente influenciados pelo mercado.

Os preços de venda passam a ser determinados pelo mercado, fazendo com que as empresas que se propõem a aumentar sua participação no mercado, ou mesmo conservá-la,

preocupem-se fundamentalmente com a minimização de seus custos produtivos (ANTUNES et al, 2008).

Como uma das premissas básicas da Construção Enxuta, podemos destacar o foco no cliente. Através de alguns dos princípios do *Lean Construction* que serão abordados neste trabalho, como, por exemplo, flexibilidade, redução da variabilidade e melhoria contínua, pode-se entregar produtos com maior valor agregado para os clientes atendendo aos pré-requisitos necessários de confiabilidade, rapidez e qualidade.

Ademais, ao implementar os princípios e ferramentas da Construção Enxuta, outros ganhos, como redução na geração de resíduos, podem ser obtidos.

Segundo Gusmão, Fucale e Farias (2016), os resíduos originados pela indústria da construção civil compõem um grande percentual dos resíduos produzidos em meios urbanos brasileiros. Estima-se que esse número pode chegar a 49% em Recife/PE.

Apesar dos altos índices de desperdício não serem uma exclusividade da indústria da construção, estes são destaque porque o consumo desnecessário de material resulta em uma alta produção de resíduos, causa diversos transtornos nas cidades, reduz a disponibilidade futura de materiais e energia, e provoca uma demanda desnecessária no sistema de transporte (GUSMÃO; FUCALE; FARIAS, 2016, p. 4).

Segundo Salem et al (2006), em estudo de caso analisado, os benefícios da implantação da filosofia *Lean Construction* foram tangíveis: projeto executado abaixo do orçamento, antes do previsto e com uma menor incidência de falhas na execução do projeto.

Além dos aspectos sociais e ambientais mencionados acima referentes aos materiais componentes dos sistemas construtivos, é válido ressaltar a importância do componente humano na avaliação da redução dos desperdícios relacionados à mão-de-obra. Um ambiente no qual o colaborador se sinta mais produtivo, motivado, com políticas de incentivo à produção e melhorias contínuas traz benefícios psicológicos e comportamentais para o desenvolvimento profissional do ser humano e contribuição para melhoria dos processos organizacionais com participação ativa de diversos colaboradores em todos os setores.

1.5 PRODUTO TÉCNICO OU TECNOLÓGICO

O desenvolvimento deste trabalho tem como produto final as diretrizes para implantação de um novo processo gerencial de desenvolvimento, execução e acompanhamento de obras, através da elaboração de um estudo de caso no qual foram aplicadas algumas ferramentas da Construção Enxuta na concepção e construção de um empreendimento residencial localizado na cidade de Recife-PE. Neste estudo, serão abordados os principais benefícios da utilização da filosofia *Lean Construction*, bem como discutidos os objetivos a serem alcançados e a

abordagem das principais metodologias e ferramentas disponíveis para obtenção dos resultados e indicadores almejados.

Através da elaboração do estudo de caso, pretende-se desenvolver um novo processo de gerenciamento de produção nos canteiros de obra da empresa utilizando as ferramentas e metodologias que serão abordadas no decorrer deste estudo, assim como analisar e discutir os resultados obtidos com o desenvolvimento da pesquisa.

1.6 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa na qual foi desenvolvido um estudo de caso único, cujo propósito é abordar e descrever benefícios e melhorias obtidas com a implantação da filosofia sugerida.

Quanto à finalidade, tem-se uma pesquisa aplicada desenvolvida nos processos gerenciais e operacionais da organização, identificando os problemas envolvidos e propondo soluções para eles. Foram incorporados conhecimentos previamente disseminados para analisar e processar fatos e dados a fim de se obter e confirmar resultados.

Quanto ao objetivo, trata-se de uma pesquisa descritiva, sendo realizado um estudo detalhado, com coleta, análise e interpretação de dados.

Segundo Yin (2001), questões sobre “como” e “por que” são geralmente respondidas em pesquisas do tipo estudo de caso, como este trabalho se desenrolou através do experimento de campo. Ainda segundo o autor, o estudo de caso não é nem uma tática para a coleta de dados nem meramente uma característica do planejamento em si, mas uma estratégia de pesquisa abrangente.

Será desenvolvido um protocolo de estudo de caso para avaliação da confiabilidade dos dados abordados neste projeto.

O presente trabalho tem como unidade de análise o desenvolvimento de um único projeto residencial concebido e executado pela empresa relatada nesta pesquisa. Após análise dos dados obtidos com este projeto piloto, pretende-se realizar discussões para viabilidade e melhoria em projetos futuros.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido em 4 capítulos. No Capítulo 1, denominado de “Introdução”, são abordados as justificativas e a relevância, o impacto social e econômico do tema, bem como os objetivos gerais e específicos.

No Capítulo 2, “Referencial teórico e revisão da literatura”, são abordados os principais conceitos da Construção Enxuta através da fundamentação teórica da pesquisa, como também o desenvolvimento da revisão de literatura.

O Capítulo 3, “Estudo de caso”, trata-se de uma breve descrição da empresa e do problema que motivou o desenvolvimento deste trabalho, abordagem de propostas para implantação com análise de indicadores e resultados de desempenho, assim como discussão dos resultados obtidos e a análise de ajustes e possíveis melhorias do processo.

No Capítulo 4, “Conclusões”, explana-se um resumo final do trabalho, considerando suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

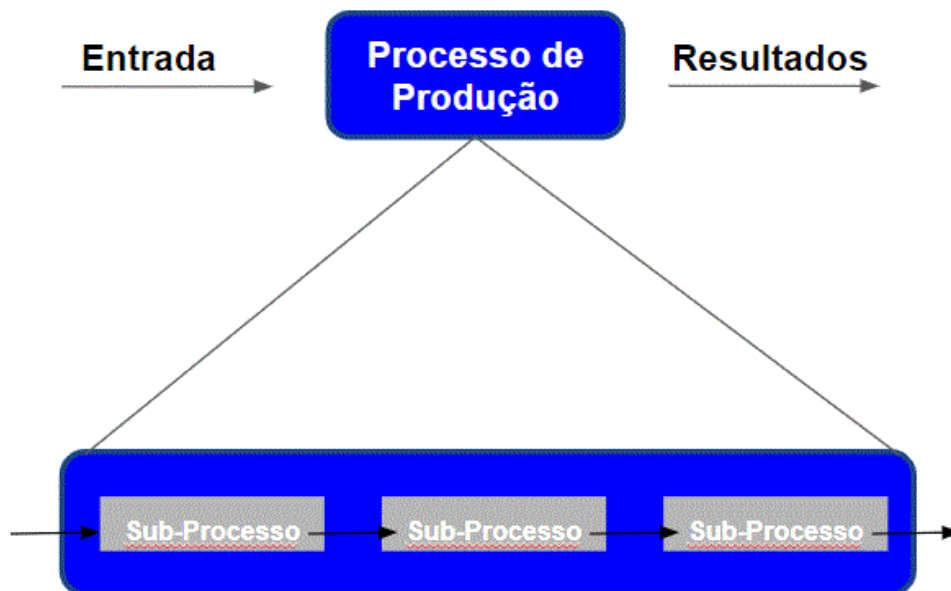
Neste Capítulo, serão apresentadas as fundamentações teóricas do Sistema Toyota de Produção e sua origem, assim como a revisão de literatura do tema.

2.1 CONSTRUÇÃO ENXUTA E SUA ORIGEM

Para Kurek (2005), a indústria da construção é diferente da manufatura, onde o ritmo de produção é fundamentalmente regido por informações e fluxos de recursos. Isto se deve a sua grande variedade de área de trabalho e o intenso uso de mão-de-obra e equipamentos não estacionários. Segundo a mesma autora, a organização, o planejamento, a alocação e o controle destes recursos são o que realmente determina a produtividade que pode ser alcançada. O modelo conceitual usado para analisar a construção, que é de conversão de entradas em saídas do sistema, ignora importantes aspectos dos fluxos de informação e recursos. Portanto, um sistema de produção focado em informações de controle de fluxo dos recursos pode ser utilizado e aplicado na construção civil, mesmo com suas particularidades.

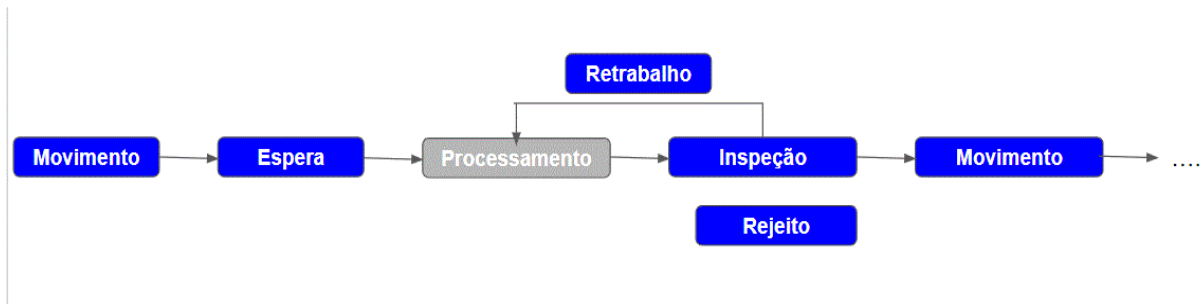
As Figuras 2 e 3 representam, graficamente, a diferença entre os processos do modelo tradicional e o modelo utilizado pela filosofia *Lean Construction*.

Figura 2 – Modelo tradicional dos processos



Adaptado de Koskela (1992)

A Figura 3 representa as etapas do processo de produção na construção, destacando as atividades que agregam valor (processamento) das demais.

Figura 3 – Modelo de processo *Lean Construction*

Adaptado de Koskela (1992)

Para Koskela (1992), a conversão é representada pelo processamento enquanto as atividades de inspeção, movimentação e espera constituem os fluxos da produção, os quais também podem ser caracterizados por tempo e custo, embora não agreguem valor.

Devido à complexidade dos sistemas de manufatura, algumas técnicas gerenciais surgiram com a finalidade de melhorar a eficiência do processo produtivo (BARROS, 2005).

No Japão pós-guerra, algumas características lhe eram peculiares, como mercado doméstico limitado que demandava vasta gama de veículos, força de trabalho japonesa atenta a seus direitos obtidos pelas novas leis trabalhistas introduzidas pela ocupação norte-americana, economia do país devastada pela guerra que impedia a compra maciça de tecnologia de ponta ocidental e mercados estrangeiros já consagrados dispostos a se defenderem contra as exportações japonesas (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

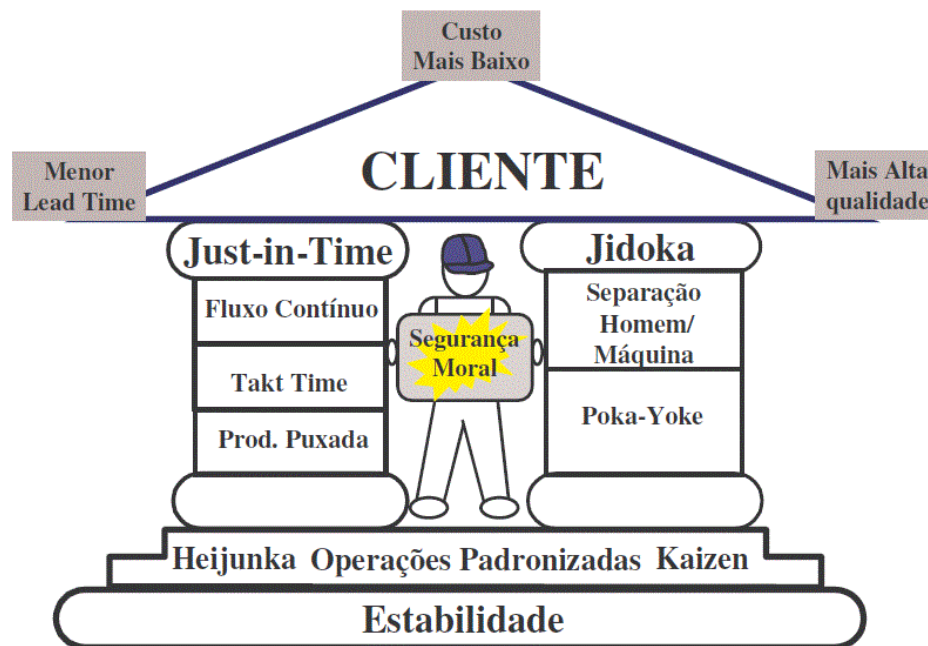
Segundo Kurek (2005), em meio a um cenário de escassez de recursos (materiais, financeiros, humanos e de espaço físico), Taiichi Ohno, engenheiro da Toyota, observou que não era viável a aplicação da produção em massa no Japão. Logo, diante da necessidade de produzir pequenas quantidades de numerosos modelos de produtos, Ohno estudou os sistemas de produção norte-americanos e os adaptou à realidade japonesa da época, o que acabou consolidando, na prática, o Sistema Toyota de Produção.

Por volta dos anos 50, Toyoda, filho de Sakichi Toyoda, o fundador do grupo Toyota, juntamente com Ohno, defendeu uma mudança nos conceitos da época, a partir da valorização do trabalhador, da diminuição de lotes e da produção baseada na eliminação de processos ou etapas que não geram valor (desperdícios) com um aumento de qualidade e, para isso, entendeu que o planejamento deveria andar de mãos dadas com a produção. A partir desse momento, deu-se início à implantação dos conceitos que estão presentes até hoje na Toyota e são almejados por muitas outras indústrias e empresas. Começava a nascer, assim, o Sistema Toyota de Produção (VALENTE; AIRES, 2017).

Ohno (1997) define a base do sistema como a absoluta eliminação do desperdício, suportada por dois pilares: *just-in-time* e automação. *Just-in-time* é o sistema no qual algo somente é produzido no momento necessário, puxado pela demanda do processo anterior e, em última instância, pelo cliente final. Já automação tem o sentido de automação com interferência humana e abrange o aumento da produtividade através da separação dos tempos das atividades das máquinas e de seus operadores, possibilitada por mecanismos, tais como a parada automática de máquina, impedindo que erros sejam produzidos em série (PICCHI, 2003).

Para Ghinato (2000), através da Figura 4 abaixo, pode-se perceber que o objetivo do Sistema Toyota de Produção é o atendimento e o foco no cliente, com menor prazo possível, na mais alta qualidade e com a incidência no menor custo, ao mesmo tempo que visa obter aumento da segurança e moral dos colaboradores, envolvendo todas as partes da organização.

Figura 4 – Casa do Sistema Toyota de Produção



Fonte: Ghinato (2000)

De acordo com Lordsleem e Filho (2018), o diagrama tornou-se um dos símbolos mais facilmente reconhecíveis na indústria moderna. O fato de ser representado por uma casa não foi por acaso. Como a construção de uma edificação, devemos iniciar a construção por suas fundações, procurando estabilidade, maturidade da empresa e trabalhos padronizados.

Para Valente e Aires (2017), com uma fundação firme, podemos iniciar a aplicação de princípios como *Jidoka* e *Just-in-time* (pilares de sustentação do modelo). Consequentemente, podemos atingir o nosso objetivo final com a construção da cobertura, que poderá manter-se

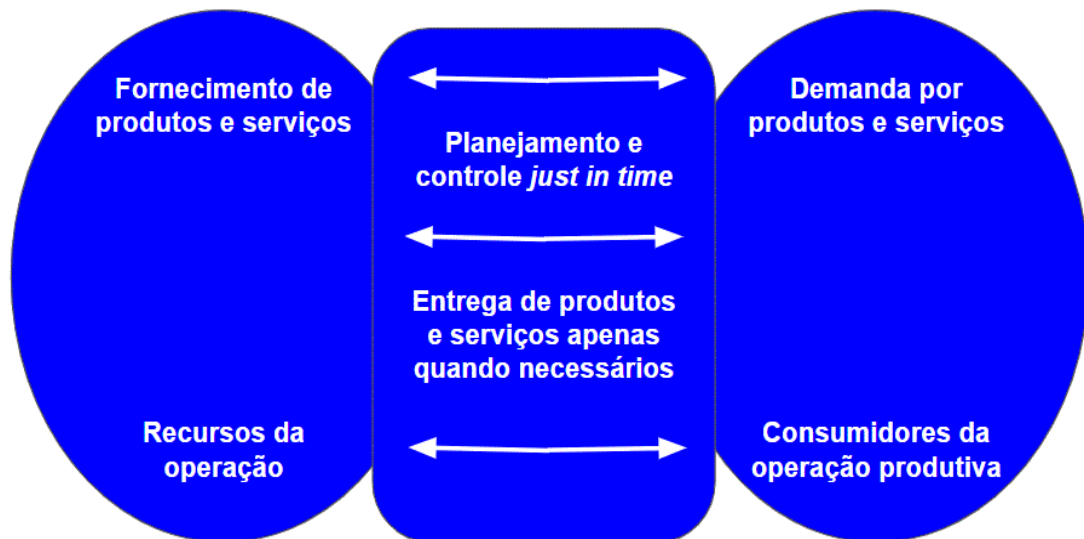
segura através do apoio em seus pilares. No interior da casa, tem-se a união das pessoas e o envolvimento da equipe na busca pela melhoria contínua, característica imprescindível para o funcionamento do STP.

A seguir, os componentes acima citados serão abordados de forma mais detalhada.

2.1.1 *Just-in-time*

Segundo Barros (2005), o *Just-in-time* é um termo usado para indicar que um processo é capaz de responder instantaneamente à demanda (seja ela interna ou externa), sem necessidade de qualquer estoque adicional, com o objetivo de fornecer o produto certo, na quantidade certa e no momento certo, não só da própria empresa que adota esta técnica, como dos seus fornecedores, parceiros e clientes, conforme ilustrado na Figura 5. Sua finalidade é assegurar o fluxo contínuo de materiais e produtos em toda a sequência das relações de interdependência e comprometimento, abrangendo toda a cadeia produtiva, passando a ser visto como um processo contínuo que tem como objetivo a melhoria da produtividade e da qualidade, com ênfase na melhoria dos processos de produção.

Figura 5 – Ilustração do conceito de planejamento e controle *just-in-time*



Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2002)

Para Lorenzon (2008), os operários são responsáveis pela qualidade e pelo controle do processo, de forma que os erros são corrigidos por aqueles que os causaram, dando oportunidade para refletir sobre as causas do problema e as formas de evitá-los, proporcionando, assim, um ambiente colaborativo para toda a equipe. Como não deve haver produção para estoques, cada operário é responsável por entregar a “qualidade” para a etapa

seguinte, pois a falta desta seria prontamente sinalizada pela etapa subsequente, havendo desabastecimento.

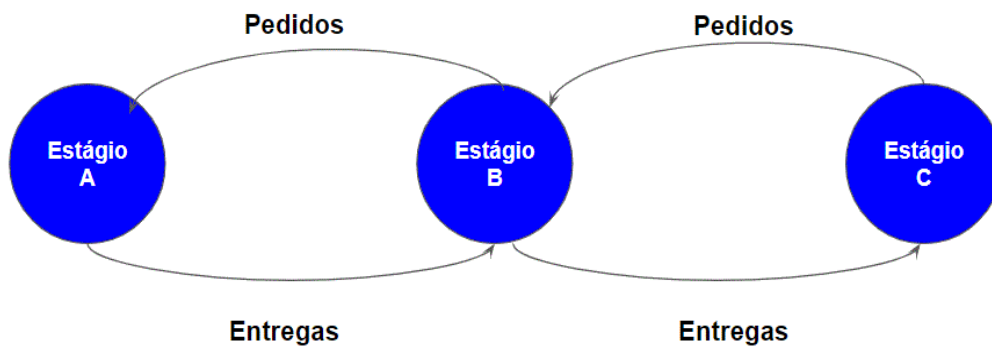
De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2002), a melhor maneira de compreender como a abordagem *Just-in-time* difere da abordagem tradicional é analisar o contraste entre os dois sistemas de manufaturas simplificados da figura a seguir.

Figura 6 – (a) Fluxo tradicional e (b) *Just-in-time* entre estágios

(a) Abordagem tradicional - estoques separam estágios



(b) Abordagem JIT - entregas são feitas contra solicitação



Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2002)

Através desta ilustração, Slack, Chambers e Johnston (2002) diferenciam a abordagem tradicional através do “isolamento” de cada estágio devido à produção de estoques que não são caracterizados como acidentais, e sim, estão para isolar e “proteger” os seus vizinhos. Esse estoque faz com que cada estágio seja relativamente independente.

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2002), o principal argumento contra essa abordagem tradicional recai sobre a própria condição que ela visa promover, ou seja, a independência entre os estágios, fazendo com que as consequências de um problema ocorrido em um determinado estágio não sejam transmitidas ao resto do sistema. Já na abordagem *Just-in-time*, os problemas, em qualquer estágio, têm um efeito bastante diferente, o que permite o compartilhamento por todos da equipe quando um problema ocorre, podendo ampliar consideravelmente as chances de que o problema seja resolvido. Ou seja, evitando o acúmulo

de estoques entre estágios, a empresa amplia as chances de a eficiência intrínseca da fábrica ser aprimorada.

2.1.2 Jidoka (autonomação)

O objetivo fundamental da autonomação é a busca da qualidade na fonte, baseada no emprego de dispositivos inteligentes (*poka yoke*), que permitem identificar falhas e de forma pré-estabelecida paralisam o processo, com o intuito de que não se produzam mais peças defeituosas e haja a manutenção sobre a causa raiz, evitando reclamações do cliente (REZENDE; DOMINGUES; MANO, 2012).

De acordo com Arantes (2008), *jidoka* pode ser entendido como facultar ao operador ou à máquina a autonomia de paralisar o processamento sempre que for detectada qualquer anormalidade. Ainda que *jidoka* esteja frequentemente associada à automação, ele não é um conceito restrito às máquinas. No STP, *jidoka* é alargado para a aplicação em linhas de produção operadas manualmente. Neste caso, qualquer operador da linha pode parar a produção quando alguma anormalidade for detectada. A ideia central é impedir a geração e a propagação de defeitos e eliminar qualquer anormalidade no processamento e no fluxo de produção. Quando a máquina interrompe o processamento ou o operador para a linha de produção, imediatamente o problema torna-se visível ao próprio operador, aos seus colegas e à sua supervisão. Isto desencadeia um esforço conjunto para identificar a causa fundamental e eliminá-la, evitando a reincidência do problema.

Apesar de, na construção civil, a noção “linha de montagem” não ser diretamente aplicável, é possível, da mesma forma, aplicar o *jidoka* em obras. Como exemplo, pode referir-se a betonagem de algum elemento estrutural que começa com a produção do concreto: se logo nessa fase for detectada uma avaria na betoneira, por exemplo, os trabalhadores devem ter autonomia para parar, uma vez que, se isso não for feito, pode comprometer todo o trabalho de betonagem e mesmo provocar danos futuros nas estruturas (ARANTES, 2008).

2.1.3 Heijunka

Segundo Eaton (2013), o *heijunka* serve para nivelar a carga de trabalho, tanto através do controle do volume como da sua variação. Essa ferramenta permite um balanceamento entre a resposta aos pedidos dos clientes na sequência em que chegam e a necessidade de se obter eficiência entre pessoas e processos.

De acordo com Salem et al (2006), na produção enxuta o nivelamento da produção aborda o impacto da variabilidade do fluxo através de controles de nivelamento da produção e

o impacto dos níveis flutuantes de demanda controlado pela otimização da sequência dos produtos com tamanhos mínimos de lotes. Quando lotes são reduzidos, as flutuações de demanda podem ser gerenciadas através de pequenos ajustes no volume de produção e nos recursos alocados.

Para Liker (2005), o nivelamento da produção (*heijunka*) consiste no processo no qual toma-se o volume de pedidos em um período e os nivela para que a mesma quantidade e combinação de produtos seja produzida a cada dia. Esse nivelamento é essencial para evitar as perdas, eliminar o desnivelamento e as sobrecargas do processo.

O *heijunka* é largamente conhecido na forma de um quadro para gestão visual, denominado *Heijunka Box*. Essa é uma ferramenta usada para fornecer uma representação da atividade. Para Lordsleem e Filho (2018), a importância de um *Heijunka Box* numa organização *lean* consiste em vincular a produção de cada produto durante um tempo relevante, sendo possível reduzir o *lead time* e aproximar a fabricação da demanda real.

2.1.4 Padronização

De acordo com Shingo (1996), a melhor forma para diminuir a variabilidade no fluxo do processo de produção é a padronização de procedimentos.

Para Falconi (1992), toda organização precisa entender que a padronização vem complementá-la, pois traz melhorias no que diz respeito à qualidade, aos custos, ao cumprimento de cronogramas, segurança, saúde e recursos humanos. O autor complementa que a padronização só chega ao seu ciclo final quando houver segurança do padrão da atividade executada. Cita ainda que o ato de padronizar é reunir as pessoas envolvidas num determinado processo e discutir seu fluxo, até que se possa encontrar o melhor caminho que ele deve seguir, assegurando que todos os participantes irão seguir o caminho que foi acordado e capacitá-los devido às novas mudanças.

Observa-se no setor de construção uma tendência de uso cada vez maior de sistemas da qualidade em construtoras, o que traz avanços em padronização das tarefas e melhoria. Percebe-se que o trabalho padronizado, como entendido na Mentalidade Enxuta, vai além da descrição da sequência de operações, abrangendo também padronização do ritmo, inventário padrão e *layout* (PICCHI, 2003).

Kurek (2005) ressalta que existem diversos tipos de variabilidade relacionados ao processo de produção, como, por exemplo, a variação dimensional dos materiais entregues, a variabilidade existente na própria execução de um determinado processo e a variabilidade da demanda, que está relacionada às necessidades dos clientes. A autora afirma que a aplicação de

procedimentos padronizados reduz o surgimento de problemas e elimina a incidência de retrabalhos, produzindo um produto final com maior qualidade e proporcionando uma maior satisfação ao cliente.

2.1.5 *Kaizen*

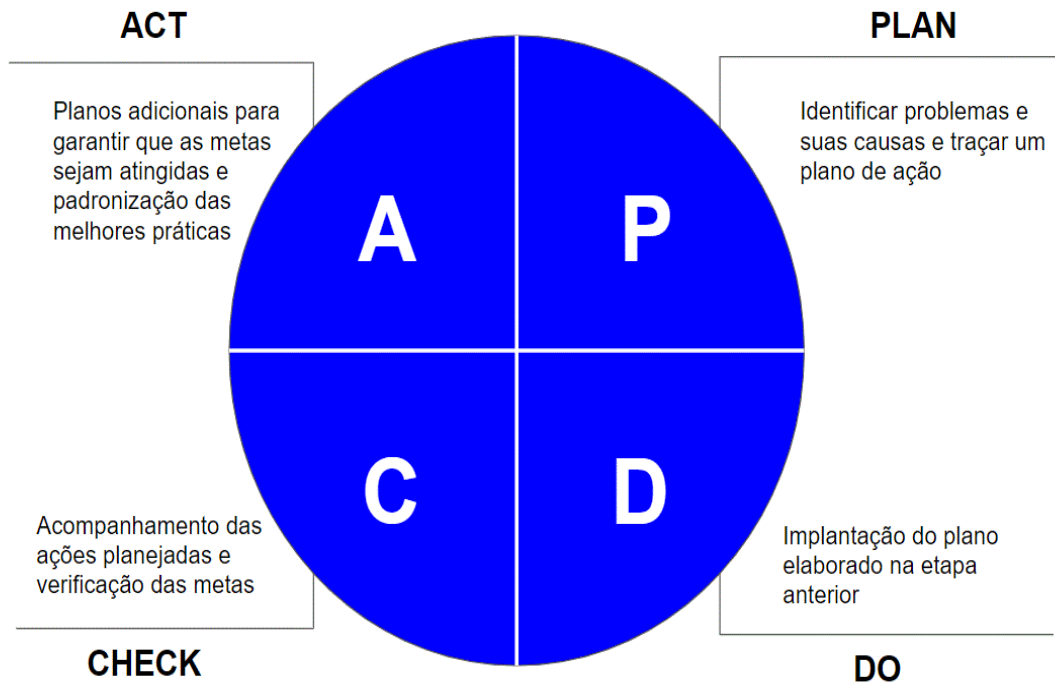
Barros (2005) afirma que o termo *kaizen* é usado pelos japoneses para indicar pequenas melhorias para o processo, por meio de montantes incrementais em vez de grandes inovações. Ou seja, *kaizen* significa os ganhos contínuos de melhoria da qualidade.

A essência do *kaizen* é simples e direta: *kaizen* significa melhoramento. Mais ainda, o *kaizen* significa contínuo melhoramento, envolvendo todos, inclusive gerentes e operários. A filosofia *kaizen* afirma que o nosso modo de vida, seja no trabalho, na sociedade ou em casa, merece ser constantemente melhorado (IMAI, 1994).

Para Salem et al (2006), melhoria contínua não pode estar associada a uma técnica específica. De fato, todas as técnicas são definidas para conduzir a uma melhoria contínua através da resolução de problemas e pensamentos criativos. No entanto, em produção enxuta, círculos de qualidade proporcionam uma oportunidade para que os trabalhadores participem ativamente na melhoria de processos. Essas equipes se reúnem periodicamente para propor ideias para a maioria dos problemas visíveis no local de trabalho. Qualidade, manutenção, redução de custos e segurança podem ser trabalhadas pelas equipes para fornecer soluções potenciais para atividades futuras. Os benefícios do envolvimento de todas as áreas não são apenas as ideias implementadas, mas também o processo de aprendizagem que os trabalhadores adquirem.

Com base em um conjunto de metas, os trabalhadores dão opiniões sobre o progresso das atividades durante as reuniões periódicas para desenvolver e melhorar atribuições. As atividades e operações são examinadas em detalhes, trazendo ideias e sugestões para explorar maneiras alternativas de se realizar o trabalho. O ciclo PDCA (*plan-do-check-act*) pode ser utilizado no monitoramento das melhorias, conforme Figura 7.

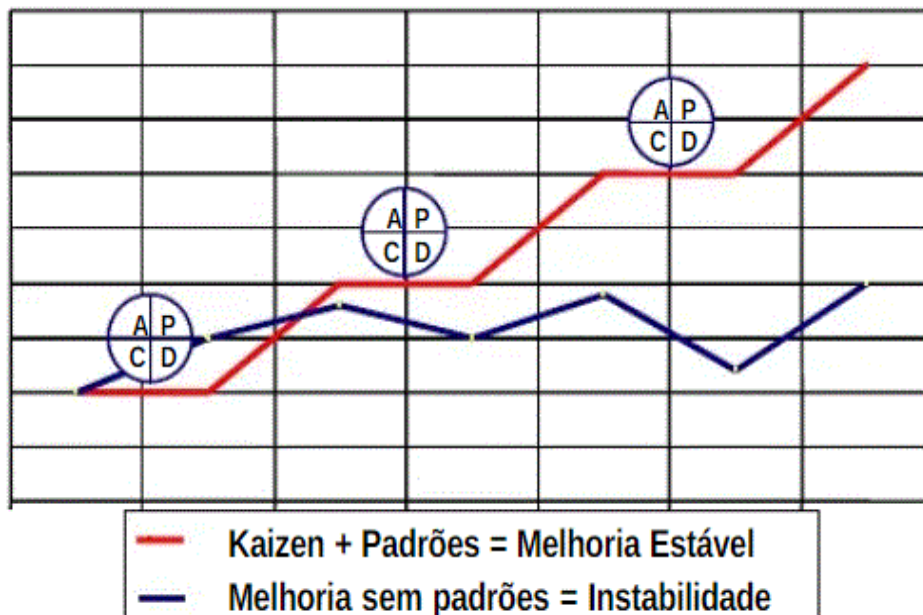
Figura 7 – Ciclo PDCA e suas etapas



Adaptado de Falconi (1992)

De acordo com Ghinato (2000), existe uma importante relação entre a padronização e o *kaizen*, conforme Figura 8 abaixo. Percebe-se que a melhoria estável permitirá atingir o próximo nível, que só deve ser alcançado através de processos padronizados.

Figura 8 – Evolução estável (padrões) x instabilidade (sem padrões)



Fonte: Ghinato (2000)

As melhorias e o envolvimento de todos os setores, não apenas o de qualidade, fizeram com que o envolvimento das áreas produtivas e administrativas concebessem parte de todo o Círculo, denominado Círculo *Kaizen*.

De acordo com Kishida (2009), os objetivos do Círculo de *kaizen* são:

- Melhorar a capacidade individual;
- Respeitar o ser humano e criar um ambiente proativo;
- Melhorar a eficiência na área de trabalho.

Ainda para o autor, o Círculo de *kaizen* é um fator de progresso na Segurança, Qualidade, Produção, Custos, Motivação, Estabilidade dos 4Ms (Mão-de-Obra, Método, Material, Máquina), Redução dos 3Ms (Desperdício, Variação, Sobrecarga), Liderança, Trabalho em Equipe, entre outros.

2.1.6 Produção Puxada

O sistema JIT apresenta diversas diferenças de abordagem em relação aos sistemas tradicionais de produção. Talvez a principal seja sua característica de “puxar” a produção ao longo do processo, de acordo com a demanda. Nesse sistema “puxado”, o material somente é processado em uma operação se ele é requerido pela operação subsequente do processo, que, quando necessita, envia um sinal (que funciona como a “ordem e produção”) à operação fornecedora para que esta dispare a produção e a abasteça (CORRÊA; CORRÊA, 2007).

O *just-in-time* é frequentemente associado ao termo “produção puxada”, uma vez que o objetivo é fazer com que a manufatura se ajuste às necessidades da demanda, na qual o cliente é quem determina quando e em qual quantidade determinado produto será produzido. Dessa forma, o direcionador é a própria demanda, que puxa todo o ciclo produtivo, desde o recebimento de insumos até a distribuição do produto final (BERTAGLIA, 2003).

Para Miroto (2016), na produção puxada utilizam-se técnicas de programação de produção e gestão de fluxo de material onde a última estação de trabalho “puxa” toda a linha de produção, com cada estação produzindo apenas a quantidade necessária para a linha seguinte, evitando o excesso de estoques.

O sistema de “puxar” a produção a partir da demanda, produzindo em cada estágio somente os itens necessários, nas quantidades necessárias e no momento necessário, ficou conhecido no Ocidente como sistema *Kanban*, que é o nome dado aos cartões utilizados para autorizar a produção e a movimentação de itens, ao longo do processo produtivo. *Kanban* é o termo japonês que significa cartão. Este cartão age como disparador da produção de centros

produtivos em estágios anteriores do processo produtivo, coordenando a produção de todos os itens de acordo com a demanda de produtos finais (CORRÊA; GIANESI, 1992).

Ainda de acordo com Barros (2005), o *kanban* funciona como uma encomenda para controlar todo o ritmo de produção e o fluxo de materiais. Dessa forma, ele funciona como uma “ordem de fabricação” que circula permanentemente e volta para o montante assim que os materiais são consumidos.

2.1.7 Poka-Yoke

Segundo Ghinato (2000), o *poka-yoke* é um mecanismo de detecção de anormalidades que, inserido dentro de um processo produtivo, impede a execução irregular de uma tarefa. Na Toyota, por exemplo, os dispositivos *poka-yoke* são utilizados para detectar problemas na causa raiz, ou seja, os erros na execução da operação.

Slack, Chambers e Johnston (2002) afirmam que a ideia do *poka-yoke* está baseada no princípio de que erros humanos são inerentes ao processo produtivo e inevitáveis até certo grau. A importância é que haja prevenção para evitar defeitos. Trata-se de dispositivos simples e, preferencialmente, baratos, que são incorporados em um processo para mitigar erros de falta de atenção dos operários, os quais provocam defeitos.

Conforme Corrêa e Corrêa (2007), a filosofia do *poka-yoke* considera que a qualidade (zero defeitos) é obtida por ações objetivas através de dispositivos físicos e não pelo incentivo à busca da perfeição. Posteriormente, continuando a busca da eliminação dos potenciais de erros o mais próximo possível de suas causas raízes, os conceitos do *poka-yoke* passaram a ser aplicados desde o projeto até a etapa de manutenção.

2.1.8 Takt-time

O *takt-time* é definido a partir da demanda do mercado e do tempo disponível para a produção. Trata-se do ritmo de produção necessário em um determinado período para atender a uma demanda específica desse período. Em alemão, o termo *takt* serve para designar a batuta do maestro, ou seja, é o marcador do compasso da orquestra. Matematicamente, pode ser definido como sendo a razão entre o tempo disponível para produção e o número de unidades a serem produzidas (ANTUNES et al, 2008).

De acordo com o autor, uma definição mais precisa e correta é de que o *takt-time* “consiste no ritmo de produção necessário para atender a um determinado nível de demanda, dada as restrições de capacidade da linha ou célula” (ANTUNES et al, 2008, p. 147). Este conceito trata de forma mais abrangente considerando as devidas limitações.

De acordo com Pascal (2008), tempo *takt* é diferente de tempo de ciclo que é o tempo real que leva para completar o processo. A meta é sincronizar, o máximo possível, o tempo *takt* e o tempo de ciclo.

Segundo Arantes (2008), na construção civil, por exemplo, o *takt-time* pode ser entendido como o ritmo para execução das atividades, segundo o planejamento de ações futuras a serem realizadas no processo de produção.

Alvarez e Antunes (2001), em trabalho publicado, discutem o hiato existente entre a interpretação corrente da lógica do *takt-time* no âmbito do STP e a real importância desse tópico para o entendimento do sistema precisar ser superado, bem como elucidar os conceitos associados. Para os autores, *takt-time* é um elemento integrante das rotinas de operação-padrão, sendo a observância destas a garantia da cadência de produção. A lógica de controle está, pois, fortemente baseada na padronização.

Verifica-se, então, que tanto a coordenação interna dos subsistemas de produção como a amarração geral do fluxo dos materiais ao longo do tempo e do espaço na fábrica são feitas com base no *takt-time*. De fato, o *takt-time* é o principal elemento concreto de modelagem e representação para a Função Processo no STP.

Em relação à dubiedade entre os conceitos de tempo de ciclo e *takt-time*, Monden (1984) afirma que o tempo de ciclo é aquele no qual uma unidade de um produto deve ser produzida; é dado pela razão entre o tempo efetivo de operação e a quantidade necessária de produção.

Para Alvarez e Antunes (2001), Monden (1984) se equivoca ao enunciar seu conceito de tempo de ciclo, o qual corresponde, de fato, ao conceito de *takt-time*. Em suma, Alvarez e Antunes (2001) conceituam tempo de ciclo como sendo o período transcorrido entre a repetição de um mesmo evento, ou seja, é o tempo necessário para a execução do trabalho em uma peça. Já o *takt-time* é conceituado como sendo o tempo que rege o fluxo dos materiais em uma linha ou célula.

Em uma linha de produção, a cada intervalo definido pelo *takt-time*, uma unidade deve ser terminada. Portanto, as características de gestão com base no *takt-time* permitem afirmar que a aplicação dessa sistemática só é adequada a sistemas com elevado grau de repetitividade na produção, como a construção civil em um único projeto que é escopo do desenvolvimento deste trabalho.

2.1.9 As sete perdas do STP

Para Ohno (1997), a verdadeira melhoria na eficiência surge quando se produz com zero desperdício e leva-se a porcentagem de trabalho a 100%. Já que no STP deve ser produzida

apenas a quantidade necessária, a força de trabalho deve ser reduzida a fim de cortar o excesso de capacidade e de corresponder à quantidade necessária.

O passo preliminar para a aplicação do STP é identificar completamente as seguintes perdas, podendo-se entender perdas sendo conceituadas como operações ou movimentos desnecessários que geram custos e não agregam valor e, dessa maneira, devem ser analisados para que essas partes sejam eliminadas ou extintas dos processos.

1) Perdas por superprodução

Shingo (1996) descreve a existência de dois tipos de superprodução: i) quantitativa, ou seja, fazer mais produtos do que realmente é necessário; e ii) antecipada, que é conceituada como a produção antes da real necessidade. Ainda, segundo Ohno (1997), as perdas por superprodução constituem-se na perda principal a ser considerada, pois elas tendem a esconder os outros tipos de perdas.

2) Perdas por espera

As perdas por espera estão associadas aos períodos de tempo nos quais os trabalhadores e/ou máquinas não estão sendo utilizados produtivamente, ou seja, embora pagos, não estão contribuindo para a agregação de valor aos produtos e/ou serviços (ANTUNES et al, 2008).

3) Perdas por transporte

De acordo com Pergher, Rodrigues e Lacerda (2011), o transporte ou movimentação de materiais é um custo que não agrega valor ao produto. Para tanto, a maioria das organizações implanta melhorias na função transporte, utilizando empilhadeiras, correias transportadoras, entre outros, o que, na real condição, melhora apenas a atividade de transporte, sendo consideradas “melhorias reais” somente aquelas que eliminam por completo a necessidade da função transporte do sistema (SHINGO, 1996). Ghinato (2000) acrescenta que as melhorias mais significativas em termos de redução das perdas por transporte são aquelas aplicadas ao processo de transporte, obtidas através de alterações de *layouts* que dispensem ou eliminem as movimentações de material. Somente depois de esgotadas as possibilidades de melhorias no processo é que, então, melhorias nas operações de transporte são introduzidas.

4) Perdas no processamento em si

Segundo Antunes et al (2008), as perdas no processamento em si consistem naquelas atividades de processamento/fabricação que são desnecessárias para que o produto, serviço ou sistema adquira suas características básicas de qualidade, tendo em vista a geração de valor para o cliente.

5) Perdas no estoque

Segundo Borna (2002), os estoques são desperdícios, visto que não acrescentam valor ao produto e demandam gastos. Os estoques de matéria-prima, de material em processo e de produtos acabados também deveriam ser reduzidos na empresa moderna, que, trabalhando com pequenos lotes e baixos estoques, conseguem aproximar-se de um fluxo contínuo de materiais, chegando muito perto da produção contínua. Antunes et al (2008) ainda acrescentam que os estoques provocam a necessidade de disponibilidade de um espaço físico adicional para produção, com custos associados. Ghinato (2000) ressalta que o STP utiliza a estratégia de diminuição de estoques intermediários como uma forma de identificar outros problemas na operação, escondido por trás dos estoques.

6) Perdas no movimento

As perdas por movimentação relacionam-se aos movimentos desnecessários realizados pelos operadores na execução de uma operação. Este tipo de perda pode ser eliminado através de melhorias baseadas no estudo de tempos e movimentos. Tipicamente, a introdução de melhorias como resultado do estudo de movimentos pode reduzir os tempos de operação em 10 a 20% (GHINATO, 2000). De acordo com Antunes et al (2008), nenhuma redução dos tempos pode ser obtida sem uma análise aprofundada das razões causais desta redução de tempo que tendem a estar relacionadas à racionalização:

- Da melhoria nos movimentos;
- Das melhorias das condições de trabalho necessárias para a execução destes movimentos.

Ghinato (2000) ainda ressalta que a racionalização dos movimentos nas operações é obtida também através da mecanização delas. Entretanto, alerta que a introdução de melhorias nas operações via mecanização é recomendada somente após todas as alternativas de melhorias na movimentação do operário e eventuais mudanças em suas rotinas tenham sido esgotadas.

7) Perdas devido à produção de defeituosos

Para Antunes et al (2008), as perdas por fabricação de produtos defeituosos consistem na fabricação de peças, subcomponentes e produtos acabados que não atendem às especificações de qualidade requeridas no projeto, ou seja, que não atendem aos requisitos técnicos estabelecidos, sejam eles da própria fábrica ou dos futuros clientes.

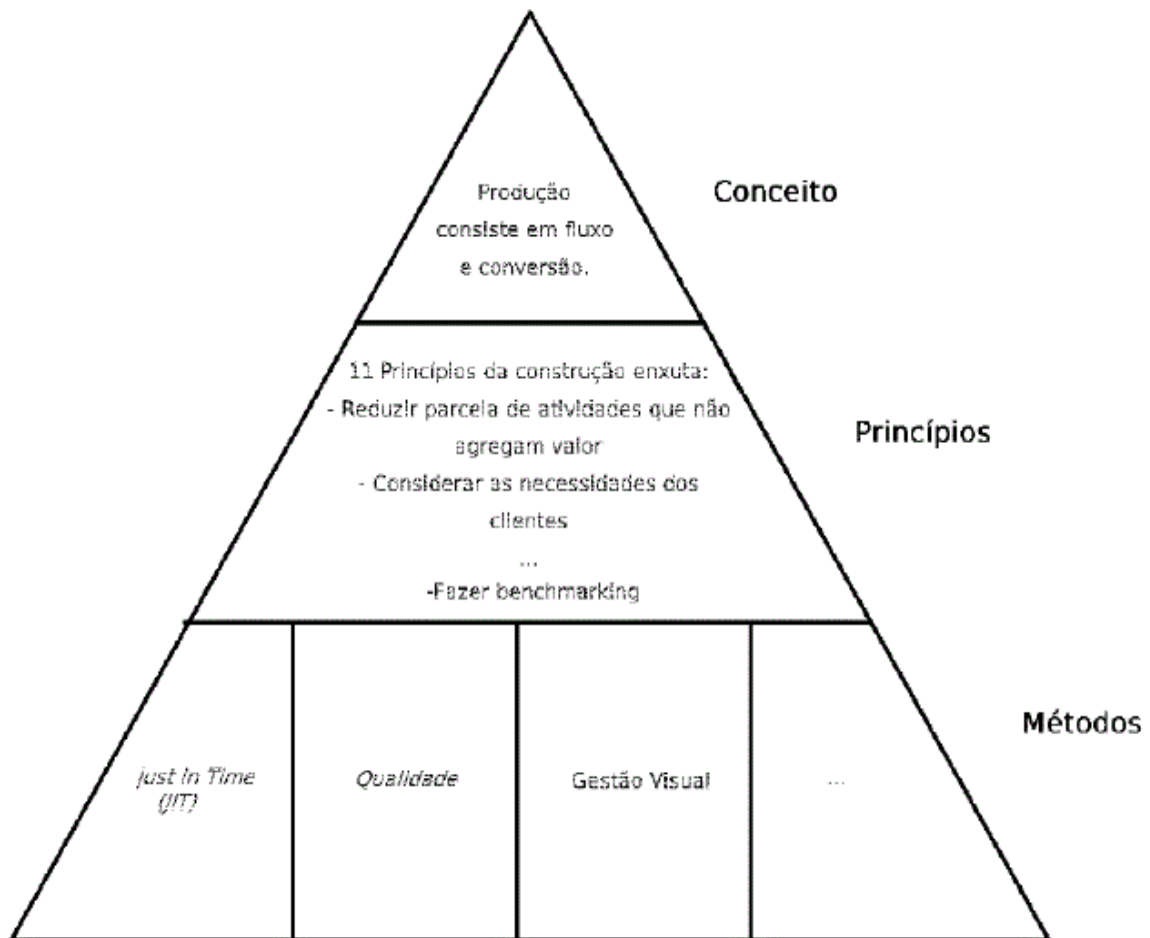
De acordo com Lordsleem e Filho (2018), Ohno (1997) sugere que estes desperdícios são responsáveis por até 95% do total de custos de ambientes não enxutos e ainda os subdivide em dois grupos: atividades que não agregam valor, porém necessárias, e atividades que não

agregam valor e podem ser eliminadas imediatamente. Na busca pela eliminação das atividades causadoras destes desperdícios e de processos ineficientes, os quais não agregam valor, diversas técnicas foram desenvolvidas para o setor da construção civil, muitas delas ligadas aos conceitos do STP.

Segundo Kurek (2005), a abordagem da construção civil com base nos conceitos do STP e Produção Enxuta apresenta-se como uma solução adequada para os problemas do setor, uma vez que tem possibilidade de aplicação com baixa utilização de tecnologias de *hardware* e *software* que são substituídas por soluções tecnológicas mais simples, baseadas no envolvimento da mão-de-obra.

De acordo com Lordsleem e Filho (2018), Koskela (1997) caracteriza ainda a Construção Enxuta por meio de conceitos, princípios e métodos, conforme Figura 9. Percebe-se que grande parte destes princípios e métodos advém do STP, já abordado neste trabalho.

Figura 9 – Diferentes níveis da Construção Enxuta



Fonte: Lordsleem e Filho (2018)

De acordo com Baumhardt (2002), a forma enxuta de produzir é, basicamente, uma maneira de produção orientada pelos conceitos e princípios do STP. Novos incrementos e

evoluções conceituais, principalmente relativos à noção de valor, têm sido postulados e considerados, somados aos conceitos originais do STP, justificando assim o uso de uma designação diferente, denominada de Produção Enxuta.

Para Valente e Aires (2017), a filosofia do STP acabou por revolucionar a forma de se produzir automóveis e logo passou a ser incorporada em outros setores de produção. Posteriormente, a Produção Enxuta invadiu os demais ramos da indústria de manufaturas, tecnologia de informação, chegando até mesmo à construção civil.

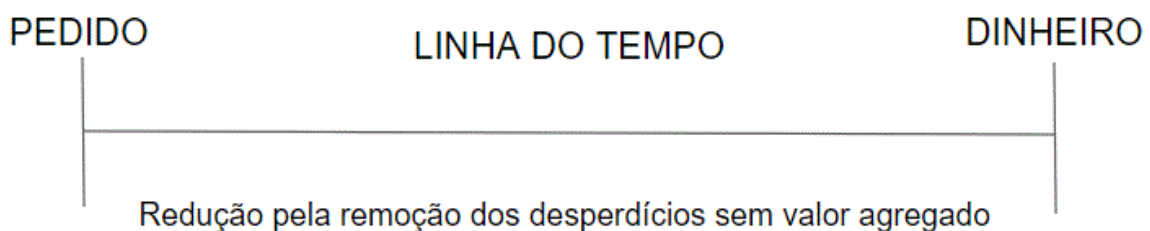
Assim, a Construção Enxuta (*Lean Construction*) surgiu a partir do Pensamento e Produção Enxuta, introduzindo um novo paradigma nos processos da construção civil.

2.2 PENSAMENTO ENXUTO (*LEAN THINKING*)

Segundo Lorenzon (2008), Womack e Jones (2004) são os criadores do termo Pensamento Enxuto (*Lean Thinking*), referindo-se aos conceitos da Produção Enxuta, enfatizando que o mesmo se aplica à empresa como um todo e não somente aos processos de produção. Segundo o autor, o pensamento enxuto é uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor, realizar atividades de maneira ininterrupta e sem defeitos toda vez que alguém as solicitar.

Para Taiichi Ohno (1997), o pensamento enxuto condiz em reduzir a linha do tempo, do momento que o cliente faz o pedido até o ponto de receber o dinheiro, removendo o uso de recursos em atividades que não agregam valor ao longo desta linha”. A Figura 10 representa esquematicamente esta definição.

Figura 10 – Linha de tempo de produção



Adaptado de Kurek (2005)

Silveira (2015) ressalta que o foco da mentalidade enxuta é o processo de criação de produtos e serviços para o atendimento, de forma eficiente, às necessidades dos clientes.

2.2.1 Princípios do Pensamento Enxuto

Para Lordsleem e Filho (2018), um dos responsáveis pela possibilidade genérica de aplicação do Pensamento Enxuto nas organizações são Womack, Jones e Roos (2004), os quais estabeleceram cinco princípios que servem como modelo da mentalidade enxuta, descritos por Lorenzon (2008), abaixo:

- Especificar o valor: o valor deve ser especificado pelas necessidades dos clientes e ser avaliado por ferramentas administrativas. Essas ferramentas definirão atributos que propiciam a satisfação do cliente. A partir das necessidades dos clientes, empresas procuram contemplá-las e cobram, por isso, um preço específico que viabilizará a manutenção do negócio, podendo aumentar os lucros através de melhorias contínuas e redução dos seus custos;
- Fluxo de valor: conjunto de todas as ações específicas necessárias para se elevar um produto específico a passar pelas três tarefas gerenciais críticas em qualquer negócio:
 - a) Tarefa de solução de problema: que vai da concepção até o lançamento do produto, passando pelo projeto detalhado e pela engenharia;
 - b) Tarefa de gerenciamento da informação: que vai do recebimento do pedido até a entrega;
 - c) Tarefa de transformação física: que vai da matéria-prima ao produto acabado nas mãos do cliente.
- Fluxo: procura uma visão holística de todas as atividades necessárias para a produção de um produto ou serviço. A relação das atividades com seus correspondentes custos e duração, o relacionamento entre elas (restrição por recursos ou tecnológicos) e o atrelamento dos recursos necessários, como a quantidade de trabalho, a caracterização e a quantidade de material, a classificação de equipamento e, ainda, as informações necessárias completam as unidades básicas necessárias para a análise;
- Produção puxada: consiste em identificar o momento que o cliente necessita do produto e proceder a entrega neste momento;
- Perfeição: refere-se à necessidade de se criar um círculo virtuoso permanente de criação de valor e eliminação de desperdício.

Lordsleem e Filho (2018) ressaltam que Picchi (2003) apresentou uma proposta de visão esquemática de integração dos objetivos da Mentalidade Enxuta até as práticas.

O Quadro 2 evidencia os exemplos de aplicação (vários deles citados nos componentes do STP), os elementos fundamentais, os princípios e os objetivos da Mentalidade Enxuta.

Quadro 2 – Princípios da Mentalidade Enxuta, elementos fundamentais e exemplos

Objetivos	Princípios	Elementos fundamentais	Exemplos de aplicação			
Melhorar continuamente a competitividade da empresa, através de: <ul style="list-style-type: none"> • Eliminação dos desperdícios; • Atender aos requisitos dos clientes em variedade, qualidade, quantidade, tempo, preço 	Valor	Pacote produto/serviço de valor ampliado	Variedade de produtos planejada			
		Redução de lead times	Engenharia simultânea			
	Fluxo de valor	Alta agregação de valor na empresa estendida	Mapeamento do fluxo de valor	Parcerias com fornecedores		
			Células de trabalho	Pequenos lotes		
	Fluxo	Produção em fluxo	TPM (manutenção produtiva total)	Qualidade na fonte		
			<i>Poka yoke</i>	Gráfico de balanceamento de operação		
			Trabalho padronizado	Gerenciamento visual		
			Puxar	Produção e entrega <i>just-in-time</i>	<i>Takt-time</i>	<i>Kanban</i>

		Recursos flexíveis	Nivelamento da produção		
			<i>Set up</i> rápido		
			Equipamentos flexíveis		
	Perfeição	Aprendizado rápido e sistematizado		Multifuncionalidade de operadores	
				Equipes autogerenciáveis	
				Cinco por quês	
				Programa de sugestões	
		Foco comum			5S
					Compromissos da Direção da empresa com os funcionários
					Treinamento de todos na empresa e fornecedores nos princípios e ferramentas <i>lean</i>
					Simplicidade na comunicação

Apud Lordsleem e Filho (2018)

2.3 PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

A partir da década de 90, os estudos e trabalhos realizados por Koskela, baseados nas práticas e princípios *Lean*, provenientes das fábricas, geraram 11 princípios básicos para o *Lean Construction*, os quais vêm sendo utilizados como base de orientação sobre essa filosofia. Esses conceitos abordam, de forma geral, fatores que, se forem executados nos ambientes de construção civil, podem aumentar consideravelmente a assertividade das tarefas desenvolvidas e, por consequência, a qualidade dos produtos entregues e uma melhor eficiência do processo (VALENTE; AIRES, 2017).

A seguir, serão discutidos e abordados os onze princípios.

2.3.1 Reduzir a parcela de atividades que não agrega valor

De acordo com Kurek (2005), este é um dos princípios fundamentais da Construção Enxuta, segundo o qual a eficiência dos processos pode ser melhorada e as suas perdas reduzidas, não só através da melhoria da eficiência das atividades de conversão e de fluxo, mas também pela eliminação de algumas atividades de fluxo. Ou seja, a busca pela redução das atividades que consomem tempo, recurso ou espaço, mas não contribuem para atender aos requisitos dos clientes.

Ainda de acordo com Kurek (2005), práticas como elaboração de *layout* de canteiro que minimize distâncias entre locais de carga e descarga de materiais atreladas ao desenvolvimento de um bom planejamento e controle da produção podem conseguir reduzir as atividades de movimentação, inspeção e espera, bem como aquelas que consomem tempo, mas não agregam valor ao cliente.

2.3.2 Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes

Segundo Isatto et al (2000), este é um outro princípio básico da Construção Enxuta, uma vez que está relacionado ao conceito de processo como gerador de valor. Este princípio estabelece que devem ser identificadas claramente as necessidades dos clientes internos e externos e esta informação deve ser considerada no projeto do produto e na gestão da produção.

De acordo com o mesmo autor, este princípio pode ser atendido ao longo do processo de projeto, com a disponibilização de dados relativos aos requisitos e preferências dos clientes finais, através de pesquisas de mercado e satisfação. O mesmo autor exemplifica a aplicação deste princípio no processo de produção com o controle de tolerâncias dimensionais de uma tarefa, para que os processos seguintes não sejam prejudicados.

2.3.3 Reduzir a variabilidade

Para Arantes (2008), a padronização dos procedimentos é, normalmente, a melhor forma de reduzir a variabilidade tanto na conversão como no fluxo do processo de produção.

De acordo com Isatto et al (2000), existem diversos tipos de variabilidade que podem ser ligados aos processos de produção, como as variações dimensionais de materiais, variedade na própria execução de determinada tarefa e variabilidade dos requisitos dos clientes, que serão evidentemente distintos.

A natureza da variabilidade também não é única, pode estar relacionada com a qualidade do produto, a duração das atividades ou com os recursos consumidos. Do ponto de vista da gestão de processos, existem duas razões para a redução da variabilidade. A primeira reside no ponto de vista do cliente, um produto uniforme em geral traz mais satisfação, pois a qualidade do produto corresponde efetivamente às especificações previamente estabelecidas. É o caso, por exemplo, da equipe que executa alvenaria, cujo serviço é facilitado caso os blocos tenham poucas variações dimensionais. O outro aspecto é que a variabilidade tende a aumentar a parcela de atividades que não agregam valor, como, por exemplo, a interrupção de fluxos de trabalho causada por interferências entre equipes e a não aceitação de produtos fora da especificação do cliente.

2.3.4 Reduzir o tempo de ciclo de produção

Conforme Valente e Aires (2017), este princípio foca em uma das principais filosofias do modelo Toyota (*just-in-time*), em que as atividades são executadas de maneira contínua e no momento certo, com a qualidade produzida determinada pela necessidade do cliente.

De acordo com Lorenzon (2008), o tempo de ciclo pode ser definido como o somatório de todos os tempos necessários para se produzir um determinado produto. Esses tempos podem ser, por exemplo, de transporte de material, de processamento, de espera e de inspeção. A diminuição de qualquer um desses tempos proporcionará uma entrega final mais rápida ao cliente durante todo o ciclo do processo.

Segundo Kurek (2005), práticas como o uso da linha de balanço para planejamento de produção trazem vantagens em relação às demais técnicas, por se tratar de um método no qual analisa-se o fluxo das tarefas e busca-se uma melhor sincronização, proporcionando, assim, operações contínuas no canteiro, diminuindo a variabilidade e, conseqüentemente, seu tempo de ciclo.

Para Koskela (1992) a redução do tempo de ciclo pode ser obtida por ações como por exemplo a redução do tamanho do lote, otimização do layout, sincronização e estabilização dos fluxos, redução da variabilidade e melhoria das sequências do trabalho.

2.3.5 Simplificar através da redução do número de passos ou partes

De acordo com Polito (2015), a máxima neste princípio é: quanto maior o número de passos de um processo, maior tende a ser o número de atividades que não agregam valor. Isso ocorre devido às atividades de preparação, apoio e inspeção para cada passo. Também está associada à quantidade de passos e à possibilidade de interferência entre equipes.

Isatto et al (2000) apresentam formas de atingir a simplificação, como a utilização de elementos pré-fabricados, o uso de equipes polivalentes e o planejamento eficaz do processo de produção, buscando eliminar interdependências e agregar pequenas tarefas em atividades maiores.

2.3.6 Aumentar a flexibilidade na execução do produto

Segundo Isatto et al (2000), o aumento de flexibilidade de saída está também vinculado ao conceito de processo como gerador de valor e refere-se à possibilidade de alterar as características dos produtos entregues aos clientes, sem aumentar substancialmente os custos dos mesmos. A aplicação desse princípio pode ocorrer na redução do tamanho dos lotes, no uso de mão de obra polivalente, na customização do produto no tempo mais tarde possível e na utilização de processos construtivos que permitam a flexibilidade do produto sem grande ônus para a produção, ou seja, a flexibilidade permitida, planejada.

2.3.7 Aumentar a transparência do processo

Para Valente e Aires (2017), o aumento da transparência proporciona que todos tenham acesso às informações e que possam identificar suas responsabilidades pelos avanços e atrasos, bem como demais indicadores, gerando comprometimento e engajamento de todos, desde os fornecedores até o cliente final.

Ainda de acordo com Koskela (1992), à medida que este princípio é aplicado, pode-se identificar problemas de maneira mais fácil e ágil no ambiente produtivo durante a execução dos serviços.

Segundo Prado, Calderaro e Piran (2019), ao aumentar a transparência do processo, verifica-se uma melhoria na identificação dos erros do sistema. Esse princípio facilita o trabalho

das partes envolvidas no processo com constante troca de informação facilitando a execução das tarefas. Também pode ser utilizado para envolver a mão-de-obra na obtenção de melhorias.

Segundo Formoso, Santos e Powell (2002) algumas formas para aumentar a transparência dos processos nos canteiros de obras são: i) a remoção de possíveis obstáculos que atrapalhem a visão; ii) as informações importantes para a execução de determinadas tarefas devem ser disponibilizadas pelos gestores para todos através de cartazes; iii) utilizar sinalização ou dispositivos visuais; iv) ter claro, através de indicadores, os níveis de produtividade e de não produtividade.

2.3.8 Focar o controle no processo global

De acordo com Arantes (2008), o controle de todo o processo possibilita a identificação e a correção de possíveis desvios que venham a interferir de forma acentuada no prazo de entrega da obra, por exemplo. Segundo o autor, para a aplicação deste princípio é essencial uma mudança de postura por parte dos envolvidos na produção, que devem procurar entender o processo como um todo e não apenas o entendimento de pequenas e restritas operações. Através de parcerias com fornecedores, por exemplo, pode-se atingir este princípio e ter redução de custos em algumas operações.

Polito (2015) ressalta a importância de não perder a visão do todo quando se atua em atividades específicas dentro de um processo. Esse é um risco real dentro da indústria da construção civil, uma vez que existem muitos envolvidos no processo: projetistas, fornecedores de materiais, empreiteiros etc.

2.3.9 Introduzir melhoria contínua no processo

De acordo com Arantes (2008), o esforço de diminuir o desperdício e aumentar a agregação de valor no processo produtivo deve ser realizado de forma incremental e iterativa. A melhoria contínua pode ser institucionalizada por meio do estabelecimento de metas como, por exemplo, redução do estoque, prazos de entrega, conformidade de serviços, entre outras. Para a prática deste princípio, o autor sugere o estímulo da mão-de-obra para a responsabilidade de utilização de boas práticas, recompensando-a e desafiando o seu desenvolvimento.

Valente e Aires (2017) afirmam que uma ótima maneira de promover a melhoria contínua é através dos aumentos dos canais de comunicação verticais e horizontais. Segundo os autores, ao se promover momentos de interação com a equipe, tem-se a oportunidade de analisar os processos e promover melhorias que podem torná-los cada vez mais eficientes.

2.3.10 Manter o equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões

Kurek (2005) afirma que melhorias no fluxo e na conversão estão intimamente interligadas. Melhores fluxos requerem menor capacidade de conversão e, portanto, menores investimentos em equipamentos. Ademais, fluxos mais controlados facilitam a implementação de novas tecnologias de conversão, podendo acarretar menor variabilidade e, assim, benefícios no fluxo.

Isatto et al (2000) sugerem para aplicação deste princípio uma consciência por parte da gerência de produção de que é necessário atuar em ambas as partes, ou seja, primeiramente eliminar perdas nas atividades de transporte, inspeção e estoque de um determinado processo e, apenas posteriormente, avaliar a possibilidade de introduzir uma inovação tecnológica.

Valente e Aires (2017) citam, por exemplo, a substituição de argamassa fabricada em obra por argamassa usinada entregue pronta, eliminando processos produtivos no canteiro e proporcionando o aumento da qualidade final e a distribuição mais eficiente do produto nas estações de trabalho.

2.3.11 Fazer *benchmarking*

Para Kopper (2012), o *benchmarking* consiste em um processo de aprendizado das práticas adotadas em outras empresas que são referências em aspectos internos e externos de acordo com a avaliação mercadológica.

Segundo Costa et al (2005), as empresas da construção civil podem obter os seguintes benefícios ao efetuar o *benchmarking*: i) realizar comparações dos processos utilizados pela empresa com relação a outras práticas internas ou realizar comparações de práticas de competidores diretos, de empresas de outras regiões ou, até mesmo, de empresas de outros setores industriais; ii) conhecer sua posição em relação aos concorrentes, possibilitando o entendimento de como atingir melhores desempenhos; iii) fixar metas realistas com base na visão conjunta do ambiente interno e externo, e priorizar áreas de melhoria; iv) compartilhar e discutir suas práticas com outras empresas; e v) criar uma cultura que valoriza a melhoria contínua para alcance da excelência.

2.4 CONSTRUÇÃO ENXUTA NA CONCEPÇÃO DO PROJETO

2.4.1 Planejamento e orçamento

De acordo com Tirintan e Serra (2005), no planejamento de um projeto existem três grandes níveis hierárquicos que devem ser bem definidos para que haja uma boa gestão.

a) estratégico: este nível se refere à definição dos objetivos estratégicos do empreendimento a partir do perfil do cliente. Deve envolver o estabelecimento de estratégias para atingir os objetivos do empreendimento, como, por exemplo, a definição do prazo da obra, as fontes de financiamento, as parcerias etc.;

b) tático: neste nível, as principais definições estão relacionadas à seleção e à aquisição de recursos que são necessários para atingir os objetivos do empreendimento, bem como a elaboração de um plano geral para a utilização destes recursos;

c) operacional: este nível está relacionado à definição detalhada das atividades que serão realizadas, seus recursos e o momento da execução.

O Planejamento e Controle da Produção (conhecido como PCP) é uma importante ferramenta para implantação da filosofia *Lean Construction* no canteiro de obras. Para Kurek et al (2013), o planejamento pode ser dividido em três níveis com diferentes horizontes de tempo: o planejamento de curto prazo, tratado como operacional; o planejamento de médio prazo, tratado como tático; e o planejamento de longo prazo, tratado como estratégico. Ainda segundo os autores, o processo de planejamento e controle da produção facilita a implementação dos princípios da Construção Enxuta, na medida em que busca reduzir atividades de movimentação, inspeção e espera, bem como aquelas tarefas que consomem tempo, mas não agregam valor.

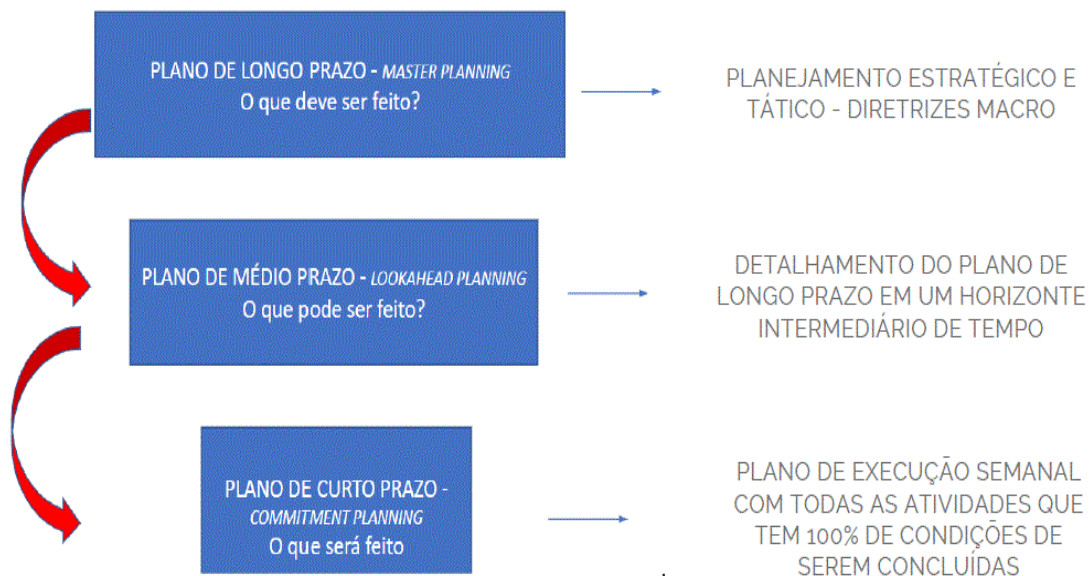
O plano de longo prazo tem como objetivo, a partir das datas de início e término do projeto, definir as principais premissas de execução da obra, tais como: definição de pacotes de trabalho e regras de precedência, dimensionamento das equipes de produção, definição do pulmão de final de projeto, cronograma para os principais suprimentos, contudo, sem muito detalhamento. Já o planejamento de médio prazo, também chamado *Lookahead Planning*, tem como objetivo detalhar o plano de longo prazo em um horizonte intermediário, que pode ser em torno de 3 a 4 meses para obras residenciais de médio a grande porte.

Nesse detalhamento devem ser estudados os fluxos de trabalhos auxiliares para a execução dos pacotes, se existe a necessidade de decompor alguns dos pacotes planejados, a validação do dimensionamento das equipes de trabalho e até colocar um plano de ação em prática para rever algum desvio em relação ao plano de longo prazo, sendo uma das principais saídas dessa etapa o levantamento das restrições que impedem o efetivo início das atividades no curto prazo e a definição dos responsáveis pela sua resolução com o estabelecimento das datas-limite.

Por fim, tem-se o planejamento de curto prazo no qual as atividades devem estar liberadas para execução sem nenhuma restrição ou impedimento para seu início e conclusão

efetiva, com a participação de todos os envolvidos no processo (AVAL ENGENHARIA, 2020). Abaixo a Figura 11 ilustra todo o processo deste método chamado *Last Planner*.

Figura 11 – Método *Last Planner*: principais características de cada nível hierárquico



Fonte: Aval Engenharia (2020)

Ainda de acordo com Heigermoser et al (2019), o *Last Planner System* pode ser dividido em duas etapas diferentes: a etapa de planejamento de longo prazo e a etapa de planejamento de curto prazo, sendo o *Lookahead Planning* responsável por preencher a lacuna entre o planejamento de projeto de longo prazo e o planejamento de execução de curto prazo. O *Lookahead Planning* é usado para decompor atividades para o nível de operação, identificando restrições, atribuindo responsabilidades e preparando informações e recursos.

Michelis, Neto e Michaud (2014) relatam que o termo *Last Planner* se refere ao nível da estrutura hierárquica das pessoas envolvidas no PCP. Neste nível, é produzido o plano que efetivamente deve ser seguido pelas equipes de produção, sendo parte do planejamento de curto prazo, possibilitando a visualização do trabalho físico a ser realizado dentro do prazo de uma semana e o último planejamento elaborado, seguindo direto para a equipe de produção, a qual o segue como um compromisso assumido com toda a organização.

De acordo com Heigermoser et al (2019), esse plano de compromisso, também conhecido como *Weekly Work Plan*, é o plano mais detalhado do *Last Planner*, especificando os trabalhos individuais estabelecidos para cada equipe.

De acordo com Ballard (2000), o *Last Planner* trata-se de um sistema de produção puxado, apropriado a grandes incertezas. Através da proteção da produção, obtém-se a redução na propagação do fluxo de incertezas, pois identifica e ataca a raiz do problema, proporcionando

possíveis reduções de estoque, melhores parcerias com fornecedores, além de aumentar a confiabilidade e a previsibilidade do cumprimento dos prazos de execução, com consequente redução no tempo e desejável economia financeira, tendo como uma das principais funções o ajuste à necessidade de cumprimento dos cronogramas em relação à capacidade de execução das equipes, baseado na situação atual da produção.

Seguindo o recomendado por Carneiro et al (2017), a revisão de todo o processo de Planejamento e Controle da Produção da empresa deve fazer parte do diagnóstico inicial para desenvolvimento da implantação da filosofia e ferramentas *lean*, contemplando uma padronização do processo de controle através da estrutura analítica do projeto (EAP) compatível com o orçamento e o planejamento do projeto.

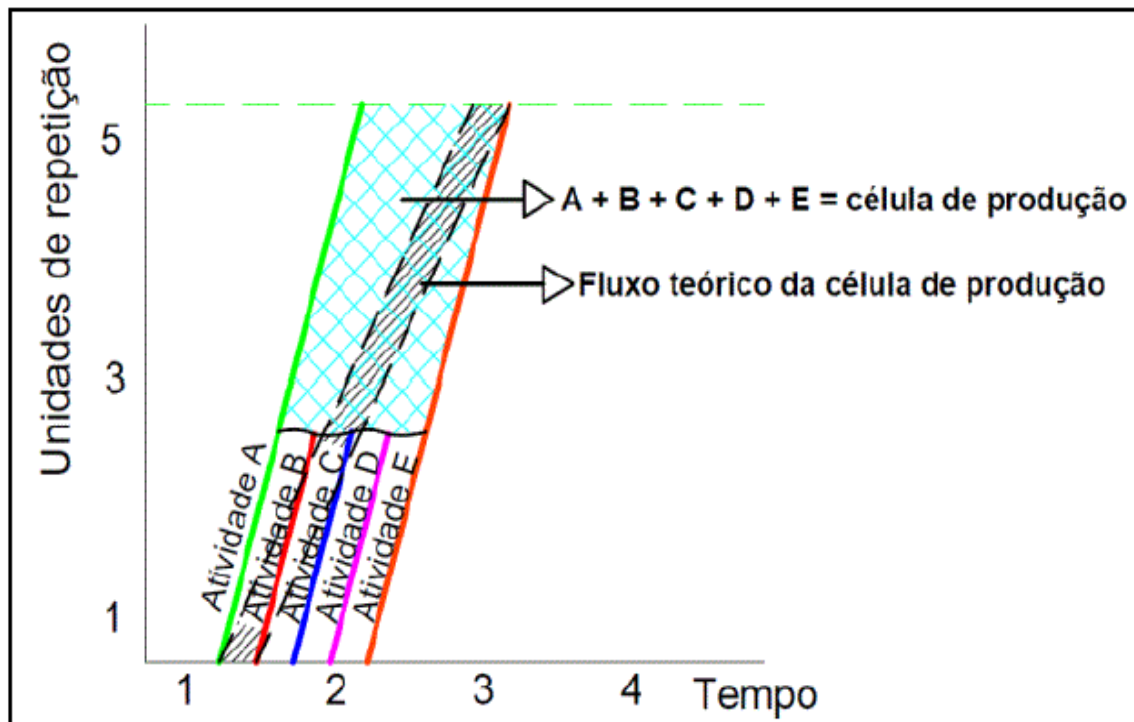
Além disso, o planejamento e o controle de obras em edificações têm de ser encarados como um processo compartilhado entre os diferentes níveis gerenciais e, para isto, requer o envolvimento e o comprometimento de todos. Não se pode planejar tudo nos mínimos detalhes, mas pode-se minimizar as incertezas com um controle eficaz e eficiente, o que nos leva a conclusão de que este é o “projeto-chave” de toda *Lean Construction* (SOUZA; CABETTE, 2014).

2.4.2 Pacotização de trabalhos

De acordo com Moura e Heineck (2014), a simplificação das operações é obtida através da redução do número de componentes de um produto, do número de partes ou estágios num fluxo de materiais ou informações, ou seja, é obtida através da diminuição de interfaces e ligações entre os processos. Quanto maior o número de componentes ou passos em um processo, maior tende a ser o número de atividades que não agregam valor, sendo a simplificação uma das maneiras obtidas para a eliminação dessas atividades.

Ainda segundo os autores acima citados, a simplificação pode ser alcançada por meio da “pacotização” do trabalho, que reduz o tempo de *set-up* e externalização do processo produtivo, permitindo uma maior participação de fornecedores, como montagem de estruturas fora do canteiro de obras e entregues no momento adequado. A Figura 12 retrata graficamente a aglutinação das tarefas para elaboração do pacote de trabalho.

Figura 12 – Pacotização de trabalho (células de produção)



Fonte: Moura e Heineck (2014)

De acordo com Choo et al (1999), um pacote de trabalho define uma quantidade exata de trabalho a ser executado (ou um conjunto de tarefas), geralmente em um local bem definido, usando informações específicas do projeto, material, mão-de-obra, equipamentos e com o trabalho precedente concluído. Ao agrupar atividades semelhantes num mesmo pacote, permite-se que um fluxo contínuo de recursos seja alcançado movendo equipes de uma área para outra. Ademais, para evitar mobilizações e desmobilizações repetidas, uma operação não deve ser iniciada, a menos que possa ser concluída sem interrupções, adotando este critério como base para delimitar a quantidade de trabalho em um pacote.

Para Vargas e Formoso (2020), esta abordagem facilita a utilização de ferramentas visuais para apresentar os planos, como, por exemplo, a linha de balanço, sendo que se busca executar uma atividade por vez em cada zona de trabalho. Assim, o foco é dado ao deslocamento dos recursos de um local para outro sem esperar, planejando-se assim um fluxo ininterrupto. A linha de balanço representa o fluxo da produção ao longo das zonas de trabalho e a sua representação em forma de linha permite identificar o ritmo de produção da tarefa por meio da sua inclinação.

Um dos princípios fundamentais da filosofia da Produção Enxuta é criar fluxo contínuo do produto nos processos de produção (WOMACK; JONES, 2004). Em uma situação de balanceamento das atividades, tem-se, ainda, uma melhor situação, em que tanto o fluxo do

produto é contínuo como o fluxo de trabalho das equipes não sofre interrupções. Balancear, neste contexto, refere-se à criação de um ritmo de trabalho sincronizado e estável, de acordo com a demanda para cada serviço ao longo das zonas de trabalho.

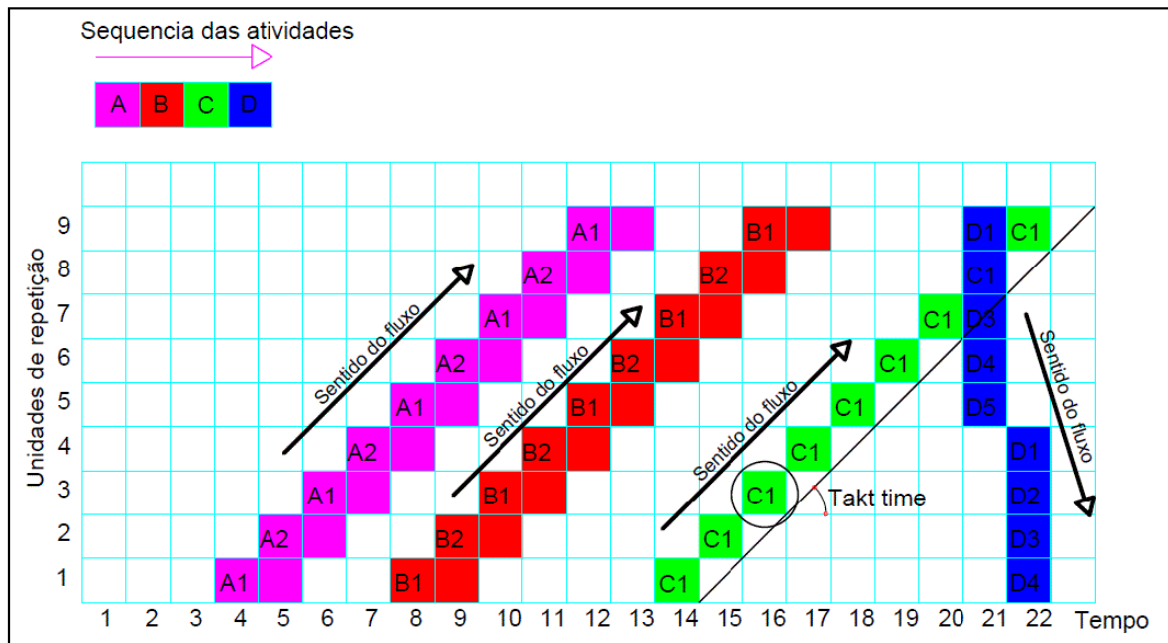
Segundo Lorenzon (2008), células de produção consistem em etapas de processamento de um produto similar a outro, de modo que possam ser processadas em um fluxo muito próximo do contínuo, seja uma por vez ou em pequenos lotes, mantidos ao longo da sequência de processamento estabelecida.

2.4.3 Linha de Balanço

De acordo com Moura e Heineck (2014), a Linha de Balanço consiste em uma técnica fundamental para o planejamento enxuto, a qual considera as sequências das atividades pelas diversas repetições das unidades da obra (pavimento, apartamento, bloco etc.) em relação a unidades de tempo, preservando constante a taxa de saída ou produção por unidade de tempo, seguindo ritmo de produção definido. A busca pela eliminação do tempo ocioso entre as atividades, sugerindo que todas tenham ritmos parecidos (balanceados), é o objetivo da Linha de Balanço (LOB, do inglês, *Line of Balance*).

Ainda segundo os autores acima referenciados, algumas características da construção enxuta podem ser aplicadas no desenvolvimento da LOB, tais como: a visão do ciclo no tempo e no espaço, a simplificação das operações pela pacotização do trabalho, a redução da variabilidade, a visão do fluxo de execução, a redução do *lead time* pelo balanceamento das atividades ou pelo efeito de aprendizagem, assim como a integração de curto, médio e longo prazo. A Figura 13 ilustra uma das maneiras gráficas de apresentar a LOB.

Figura 13 – Visualização do fluxo de execução de atividades na LOB



Fonte: Moura e Heineck (2014)

É importante destacar que através da visualização gráfica da Linha de Balanço, pode-se observar várias características relevantes de um projeto repetitivo como: local de trabalho, tipo de atividade, *lead time*, sincronização de equipes, interferência entre atividades, dentre outros pontos importantes.

2.4.4 BIM – *Building Information Model*

Segundo Chien, Wu e Huang (2014), BIM é uma tecnologia em desenvolvimento na qual os modelos de informações digitais são empregados em um espaço virtual para alcançar alta qualidade, construção eficiente e gerenciamento por todo o ciclo de vida de uma instalação.

Sacks et al (2010, p. 1) afirma que o BIM proporciona

a base para novas capacidades de construção e mudanças nos papéis e relações entre a equipe do projeto. Quando implementada adequadamente, BIM facilita um processo de concepção e construção mais integrada que resulta em melhores edifícios, com qualidade, a menor custo e com duração do projeto reduzida.

Nesse sentido, o uso da metodologia BIM auxilia para fornecer a base para alguns dos resultados que a Construção Enxuta se propõe a entregar.

De acordo com Vargas e Formoso (2020), a utilização de modelos BIM, juntamente com ferramentas como a linha de balanço, surge com um potencial a ser explorado, a fim de entender como, em conjunto, permite estudar os fluxos de trabalho, verificar falhas no sequenciamento das atividades, avaliar a viabilidade de planos propostos e identificar

alternativas de planos para a execução, além de proporcionar uma visualização espacial do projeto da obra e as interferências entre as atividades que podem ocorrer num mesmo local.

2.5 REVISÃO DA LITERATURA

Segundo Ballard e Howell (2003), foram analisados a produtividade da construção e os atrasos nos anos 90, cobrindo uma ampla gama de projetos e chegaram a um índice de 54% de falhas referentes ao planejamento. Isso significava que os métodos convencionais de gerenciamento de projetos falhavam na entrega de projetos dentro do prazo, no orçamento e na qualidade proposta. Com base nesses resultados, os autores sugerem que a maioria dos problemas poderia ser resolvida por meio de um sistema abrangente de gerenciamento, planejamento e produção, aplicando o Sistema Toyota de Produção.

Através de levantamento de dados em trabalho publicado, Heigermoser et al (2019) sugerem, no trabalho referenciado, a utilização da ferramenta do *Last Planner System* juntamente com o BIM como um protótipo para provar o conceito de interação entre *Lean Construction* e BIM, buscando combinar práticas da Construção Enxuta com o BIM, procurando criar um ambiente colaborativo e com maior eficiência no gerenciamento do processo de construção.

Além disso, Vargas e Formoso (2020) afirmam que os métodos tradicionais de planejamento e controle da produção (PCP) utilizados na indústria da construção têm limitações por não considerarem as interferências entre os processos, a incerteza na disponibilidade de recursos, possuírem excesso de folga de tempo e, principalmente, por não darem suporte à natureza repetitiva dos empreendimentos de construção.

Para Heigermoser et al (2019), foi a partir das falhas de planejamento observadas na década de 90 que surgiu o *Last Planner System* para buscar aplicação das filosofias *Lean Construction* e proporcionar uma maior assertividade dos projetos, uma vez que projetos com métodos convencionais de programação mostravam uma lacuna entre o planejamento de longo prazo e o planejamento de execução de curto prazo.

Em 1992, Ballard começou a desenvolver o *Last Planner System* para melhorar a confiabilidade do planejamento, aumentar a produtividade das construções e garantir um fluxo de trabalho suave, servindo como elemento crítico de controle de produção de projeto na filosofia *Lean*, sendo um sistema abrangente com a filosofia de “puxar” para obter a otimização do planejamento e a execução de obras.

Em estudo de caso realizado por Conte e Gransberg (2002), pôde-se constatar que, através da aplicação dos princípios da Construção Enxuta, utilizando planejamento com uso da

linha de balanço, redimensionamento de fluxo e pacotes de trabalho na execução de um empreendimento residencial, obteve-se redução do prazo de conclusão de obra e redução do efetivo de equipes de apoio à produção, impactando em economia do projeto devido a menor quantidade de pacotes de trabalho e, conseqüentemente, a menores custos de logística interna. No trabalho mencionado, houve uma redução de 43 para 29 pacotes de trabalho, representando 32% de diminuição com a aplicação da abordagem enxuta de produção.

Já no estudo de caso abordado por Alves (2017), verificou-se que, devido à difusão dos planejamentos para as equipes de produção, obteve-se um maior engajamento da equipe para cumprimento de prazos, atingindo variações de 0,29% entre o planejado e o executado, o que representa quase uma congruência entre o desempenho planejado e realizado.

Segundo Choo et al (1999), o maior problema que os trabalhadores no campo enfrenta é lidar com discrepâncias entre os recursos previstos, realmente necessários e disponíveis. Incertezas como ambigüidades de projetos e erros de fabricação de produtos afetam o fluxo de recursos antes da aplicação. Portanto, proteger os trabalhadores dessas incertezas por meio de um planejamento adequado é a chave para minimizar o impacto em sua produtividade.

Para minimizar essas ocorrências, além da utilização de técnicas de planejamento e organização de fluxo de recursos para execução das atividades, pode-se fazer uso da metodologia BIM com o objetivo de obter um melhor funcionamento operacional e mitigar falhas decorrentes de incompatibilidade de projetos.

Bataglin et al (2018) mencionam estudos anteriores sobre o uso do BIM no auxílio da gestão da produção, destacando o uso da modelagem para o planejamento do fluxo de materiais, mão-de-obra e equipamentos em diferentes etapas do processo construtivo. Ainda de acordo com os autores, sugere-se que o benefício mais significativo da modelagem é a melhoria na visualização do progresso dos trabalhos da construção, resultando em uma economia de 11% do tempo total de construção e de 4% nos custos do empreendimento.

Ainda de acordo com os autores acima citados, no estudo empírico realizado, as melhorias no fluxo e no compartilhamento das informações entre os dois locais de produção estudados resultaram no aumento da confiabilidade das informações geradas e em ganhos substanciais na produtividade das equipes, através do uso da modelagem BIM em conjunto com práticas da Construção Enxuta.

Segundo Conte e Gransberg (2002), todo planejamento de produção deve ser baseado em manter o ritmo de trabalho em vez de procurar picos de produtividade que podem melhorar o desempenho de uma determinada atividade, mas nem sempre garante a melhor combinação para o projeto como um todo. Com isso, a linha de balanço é uma técnica que deve ser usada

para otimizar o estudo do ritmo dos serviços a serem executados. Esta técnica prevê identificação imediata de gargalos de produção e eventuais pontos de inserção de pulmão. O objetivo é minimizar as diferenças de ritmo entre os pacotes de trabalho identificadas para o projeto. Através da aplicação dessa ferramenta, os autores conseguiram estimar, neste estudo de caso, uma redução do tempo de conclusão do projeto de 2 meses (a previsão inicial era de 24 meses) e diminuição do efetivo de trabalhadores em 30%.

Para que exista um ambiente propício para aplicação destas ferramentas no canteiro de obras, é necessário que haja organização e disposição corretas de materiais e equipamentos no local de trabalho.

De acordo com Muhammad et al (2019), planejamento do *layout* de canteiro trata-se de uma atividade complexa na maioria das obras devido à diversidade de variáveis de decisão, incluindo dimensionamento e coordenação de instalações, materiais e pessoas dentro dos limites de um canteiro de obras. Uma abordagem eficaz para o sucesso de um *layout* de canteiro é a garantia do uso ideal da área disponível, levando em consideração a economia de tempo e custo durante o processo de construção do empreendimento, promovendo um ambiente de trabalho organizado e seguro.

Através de pesquisa realizada no trabalho de Muhammad et al (2019), por questionários feitos com os participantes do projeto, os resultados almejados com o desenvolvimento desse tipo de trabalho são reduções de custo de projeto através de um fluxo de material eficiente e confirmação de que o trabalho ocorra sem obstruções, com auxílio de diversas ferramentas para análise de diversas opções de *layout* para execução do projeto. Ao fazer isso, os autores perceberam que os problemas podem ser mitigados antes do estabelecimento da construção real local. Portanto, um ambiente de trabalho eficaz e seguro pôde ser desenvolvido.

De acordo com Souza et al (2005), dentro de um adequado *layout* de canteiro de obras, práticas como controle visual de estoque de materiais e criação de vias de tráfego, informando o local adequado para transporte de materiais e equipamentos, auxiliam na melhoria da organização e na estocagem de produtos, além de diminuir a possibilidade de acidentes nestas movimentações.

2.5.1 Uso do BIM

Segundo Uriz, Sanz e Sanchez (2019), as principais melhorias derivadas do uso combinado da Construção Enxuta e do BIM estão relacionadas às interações identificadas na matriz exposta no trabalho de Sacks et al (2010). Nesta matriz, foram justapostas funcionalidades BIM com princípios da Construção Enxuta, na qual foram identificadas 56

interações das quais apenas 4 não representavam interação construtiva. Princípios enxutos, como agregar valor ao cliente, melhorar o fluxo e desenvolver a melhoria contínua, juntamente com aplicativos BIM, como visualização, maior colaboração e análise dos projetos, são as principais causas dessas melhorias.

Segundo análises comparativas realizadas pelos autores, constatou-se que a qualidade do trabalho realizado com o uso da ferramenta BIM associada aos conceitos da *Lean Construction* reduziu em 65% as horas gastas em modificações e alterações durante o processo de projeto.

No trabalho publicado por Heigermoser et al (2019), foi desenvolvida uma ferramenta baseada em BIM, que oferece suporte ao LPS, com objetivo de ser utilizada no gerenciamento de construções para melhorar a eficiência e confiabilidade da construção.

De acordo com Pérez e Costa (2021), em artigo publicado foi aplicado o princípio da Construção Enxuta para eliminar atividades que não agregavam valor, utilizando simulações de modelagem, visando à redução de desperdícios de transporte no processo de produção da construção, obtendo resultados de diminuição em torno de 19% das atividades de transporte.

2.5.2 Estudos com ferramentas e metodologias da Construção Enxuta

O modelo *andon* é usado para estabelecer uma cultura de controle de qualidade no local, permitindo que os funcionários obtenham assistência imediata sempre que ocorrer um problema. No STP, o *andon* equipa as linhas de produção com lâmpadas de aviso que acendem quando um problema é encontrado, convocando assim pessoal técnico para resolver o problema (LIKER, 2005).

Além disso, as operações são puxadas pelo sistema *Kanban* para reduzir inventário de materiais e alcançar fluxo contínuo de construção. Em estudo de caso elaborado por Ko e Kuo (2015), os resultados mostram que o modelo proposto pode efetivamente reduzir o desperdício no fluxo de construção e aumentar o valor das operações, fornecendo uma nova abordagem para melhorar o processo construtivo, detectando, por exemplo, uma redução de movimentação dos trabalhadores de 13,5% para 4,6% do tempo total gasto na montagem e na usinagem do processo em estudo. Ainda segundo os autores, o uso do *Kanban* aplicado ao processo construtivo auxiliou no desenvolvimento de um sistema de agendamento que ajuda a determinar o que produzir, quando produzir e quanto produzir. O sistema foi usado para mudar a maneira tradicional de transmitir oralmente os pedidos de construção, melhorando a comunicação com os clientes e reduzindo o potencial desperdício de material no pátio de armazenamento. Além disso, o *Kanban* foi usado por supervisores, coordenadores, encarregados de obras e

trabalhadores como base para a comunicação e a solução conjunta de problemas. A combinação dessas duas abordagens permitiu a criação de um fluxo contínuo para controlar melhor o progresso dos serviços analisados.

No estudo de caso, os autores puderam identificar que o sistema melhorou a comunicação entre os trabalhadores e o supervisor, facilitando a transição para a atividade a seguir no fluxo de construção. Este estudo também enfatiza o controle de qualidade no local. A abordagem proposta permite que trabalhadores formados parem imediatamente a produção diante de problemas e solicitem assistência, evitando desperdícios através da produção de produtos defeituosos e evitando os efeitos de impacto desses defeitos, sendo enviados para o fluxo de construção a jusante.

De acordo com Michlowicz (2017), em estudo de caso abordado, a introdução do sistema *Kanban* reduziu significativamente os estoques de armazém e melhorou a comunicação entre linhas de produção individuais. De acordo com o autor, o uso de cartões suporta a autorregulação do sistema. Se ocorrer um desligamento da linha do cliente, o funcionário da logística não recebe um sinal na forma de um cartão que também serve como ordem de produção, interrompendo o fornecimento de componentes e a produção de um determinado componente. Isso é de extrema importância se o princípio do *Just-in-time* for seguido. A implantação dessa metodologia proporcionou redução de 34% de estoques para o estudo de caso mencionado.

Dentro do processo construtivo de uma edificação, existe um elevado índice de variabilidade de materiais e serviços que podem afetar negativamente os prazos e custos do empreendimento. Segundo Fazinga et al (2019), a padronização é um dos princípios mais importantes do Sistema Toyota de Produção aplicado na construção civil, devido aos benefícios que favorecem a estabilidade do processo, proporcionando condições para produzir resultados consistentes ao longo do tempo.

Em estudo de caso abordado, os autores implementaram a padronização dos serviços de execução de estrutura de concreto armado de uma torre residencial, caracterizando todo o tempo de ciclo e as operações inter-relacionadas realizadas por diversos trabalhadores que, tradicionalmente, têm sua própria maneira de se organizar nos respectivos serviços.

Através de observações diárias iniciais, as atividades foram mapeadas com suas características de duração e sequenciamento relatados pela própria equipe de produção. Posteriormente, os dados foram processados e analisados pelos pesquisadores. Após várias reuniões, foi definido um padrão de execução desta atividade, contemplando sequência de trabalho e representações gráficas do trabalho ao longo do tempo e no espaço físico. Após

aplicação *in loco* desta nova forma de produção, de maneira padronizada e com equipes treinadas e segmentadas por setor, constatou-se uma redução significativa no tempo de ciclo de execução de cada pavimento de 13 para 10 dias.

Além disso, a padronização de serviços pode trazer outros inúmeros benefícios, principalmente quando incorporados aos processos contemplados no Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) da organização. De acordo com Depexe e Paladini (2008), os benefícios obtidos a partir da implantação de sistemas de gestão da qualidade têm sido pesquisados em todo mundo, apontando benefícios para empresas certificadas, como redução do número de reclamações dos clientes, redução do tempo de entrega e melhoria do processo produtivo.

Ainda de acordo com os autores, através da utilização do SGQ, o efeito mais positivo da padronização na gestão das operações é a redução de erros e defeitos durante o processo produtivo citado por 91% das empresas consultadas no trabalho referenciado. Em estudo de caso composto por avaliação de 14 empresas no estado de Santa Catarina, observou-se, através de análise com uso de pesquisa estruturada baseada em um questionário preenchido pelos responsáveis pela qualidade de cada empresa, que os maiores benefícios operacionais advindos do uso do SGQ como ferramenta de gestão dos canteiro de obras foram, respectivamente elencados: maior organização interna, padronização dos processos, redução de desperdício, redução de retrabalhos, dentre outros.

É evidente a importância da aplicação em conjunto de diversas ferramentas de forma simultânea e congruente para atingir seus respectivos objetivos. Através da revisão de literatura elaborada por Lordsleem e Filho (2018), eles constataram que boa parte das empresas analisadas abrangiam apenas a implementação de poucas práticas da Construção Enxuta. Ainda de acordo com os autores, essa situação de carência das empresas construtoras foi relatada por Pfaffenzeller (2015), que assinala que na maioria das experiências de implantação de Construção Enxuta, utilizaram-se práticas isoladas em cada obra e, geralmente, fragmentadas, sem conexão entre as mesmas.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A revisão da literatura apresenta diversos ganhos obtidos com o uso da filosofia *Lean Construction* em várias tipologias de construções, com ferramentas diversificadas em variadas etapas de execução dos empreendimentos. Este trabalho buscou, através do projeto piloto, agregar e sintetizar grande parte dessas ferramentas no desenvolvimento conjunto de todos os setores envolvidos na concepção do projeto, propondo planejamento, gerenciamento, acompanhamento e monitoramento com base nos princípios da Construção Enxuta. Através de

medições e ferramentas integradas ao planejamento e *Power BI* desenvolvido para o acompanhamento do projeto, pôde-se ter um acompanhamento semanal rigoroso da evolução física do empreendimento, facilitando a tomada de decisões e o gerenciamento operacional.

3 ESTUDO DE CASO

Este Capítulo irá abordar uma breve descrição da empresa, contextualizando suas principais atividades e respectivo escopo, relato do problema abordado e objeto do estudo deste trabalho, assim como as propostas de implantação de ações, as técnicas construtivas e as metodologias aplicadas para buscar alcançar os resultados esperados e proporcionar e evolução para a resolução do problema abordado através do desenvolvimento de um novo processo de gerenciamento baseado na análise da implementação das práticas e ferramentas aplicadas por meio de indicadores monitorados pela organização.

3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

O presente trabalho tem como ambiente de desenvolvimento uma construtora/incorporadora, empresa que atua no ramo de construções e incorporações residenciais e comerciais na Região Metropolitana do Recife (RMR). Sempre buscando a excelência em suas obras, a empresa vem desenvolvendo novos projetos e metodologias com o emprego de tecnologias construtivas que possibilitam a redução do tempo de construção, aumento de produtividade e melhoria da qualidade do imóvel, garantindo um melhor retorno aos investidores e clientes finais.

O escopo da empresa consiste na execução de obras de edificações, sendo seus produtos imóveis residenciais/comerciais.

A política da qualidade da organização passou por uma modificação recente (dez./19) devido a mudanças internas na organização e ao atendimento de novos requisitos do mercado.

Desempenhar nossas atividades em Edificações com práticas sustentáveis e de melhoria contínua, em harmonia com a Missão, Visão e Valores da empresa, com o compromisso de atender os requisitos aplicáveis, visando sempre a satisfação e a superação das expectativas dos nossos clientes e partes interessadas. (Arquivo da empresa).

Em consonância com as novas diretrizes impostas pela política de qualidade, com os desafios já citados para cumprimento de prazos e custos do empreendimento em estudo e para melhorias no desempenho operacional, visando melhores indicadores de produtividade e redução de desperdícios, foram incorporados os conceitos da Construção Enxuta desde a etapa de concepção do projeto para que o mesmo se tornasse viável financeiramente.

Um novo processo de planejamento, orçamento, controle e execução de obra foi implantado com base nas práticas do *Lean Construction* para obtenção dos resultados almejado pela organização.

O projeto em estudo trata-se da execução de um edifício residencial composto por um único bloco com total de 19 pavimentos, sendo 1 pavimento pilotis, 1 pavimento vazado, 16 pavimentos “tipo” e 1 pavimento denominado coberta/casa de máquinas. O empreendimento imobiliário terá uma área total de 7.639 m², sendo 4.478 m² de área privativa e 3.161 m² de área destinada ao uso comum.

3.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Com o desenvolvimento da filosofia de Construção Enxuta, surgiram soluções alternativas para a melhoria dos processos construtivos, não se baseando exclusivamente na implantação de novas tecnologias e, sim, também direcionando os esforços para a racionalização dos processos (KUREK, 2005).

O canteiro de obras é o local onde a maior parte do valor é produzido, onde as coisas acontecem e onde, geralmente, todos os erros aparecem (POLITO, 2015). Portanto, a adoção de ferramentas que compõem a filosofia da Construção Enxuta pode proporcionar uma melhoria operacional e de organização dentro dos canteiros, bem como a redução de prazo e custos com desperdício de material e mão-de-obra, contribuindo para o desenvolvimento de um melhor produto e entrega final ao cliente.

Para que a empresa possa usufruir dos ganhos da aplicação do *Lean Construction* é importante que estes conceitos estejam presentes desde a etapa da concepção, planejamento e orçamento do empreendimento.

Para isso, inicialmente, foi contratada uma empresa para realização dos serviços de pré-projeto de viabilidade orçamentária e planejamento. Para que o cronograma de execução fosse compatível com os recursos orçamentários disponíveis, foi estimado um planejamento de execução de 27 meses para realização do empreendimento.

De fato, muitas atividades que são realizadas dentro do canteiro de obras não permitem uma fácil visualização de desperdícios vinculados ao processo produtivo. Por isso, a importância de se ter um planejamento que possa conceber medidas na gestão para que tais eventos sejam minimizados.

A busca pela implantação dessa filosofia se deu pelo desafio de execução de cumprimento de prazo e custo do empreendimento em estudo em relação aos dois últimos projetos executados pela empresa. Para que houvesse a viabilidade do projeto, foi avaliado o *benchmarking* com o último empreendimento entregue pela empresa, cuja área de construção totalizou 4.360,00 m² em um prazo de execução de 33 meses (desde o início de mobilização de canteiro até a data do Habite-se da prefeitura). O empreendimento em estudo comporta uma

área de construção no total de 7.639,00 m², que representa em torno de 75% mais do que o empreendimento de referência. Para aprovação da viabilidade financeira, o prazo estimado para execução foi de 27 meses. Frente a este cenário, foi sugerida a implantação de algumas ferramentas da Construção Enxuta para que os objetivos e indicadores de desempenho financeiro do projeto pudessem ser alcançados.

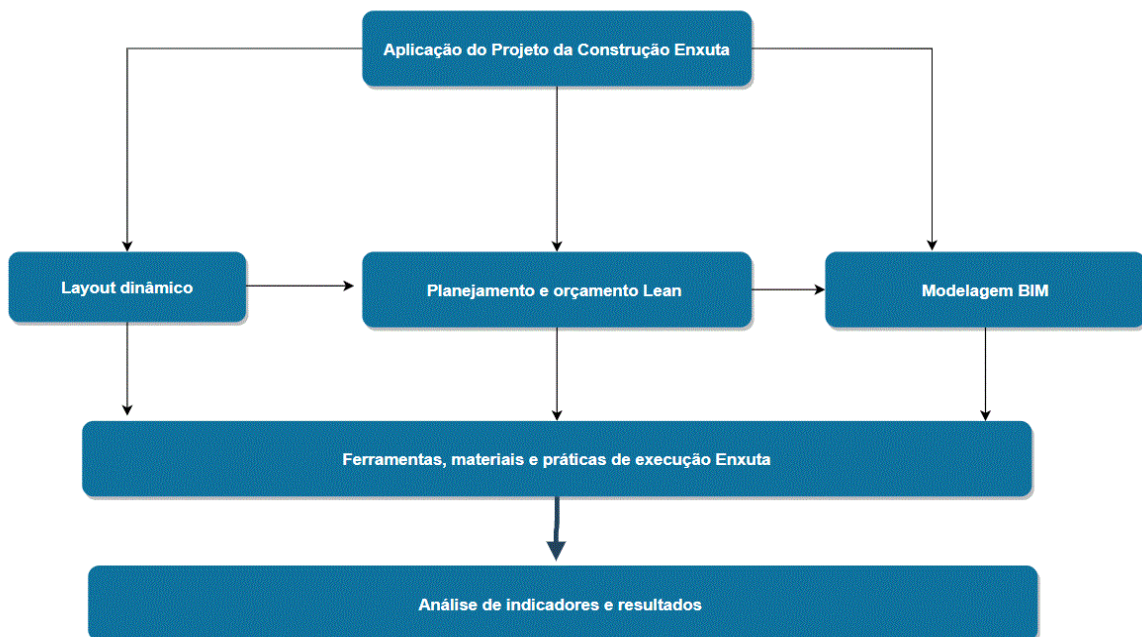
Segundo Mota e Alves (2008), a meta é projetar um sistema capaz de entregar valor com o mínimo de desperdício devido ao melhor alinhamento de suas estratégias, da adequada definição de suas tarefas e de um foco no processo de construção como um todo (e não de suas partes distintas).

3.3 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO

Por se tratar de um projeto de maior porte em relação aos antecedentes, conforme relatado no item 1.2, as folgas de pulmão de prazo de obras e margens orçamentárias precisaram ser minimizadas para que não comprometesse a viabilidade e entrega ao cliente final.

Para que toda a idealização do planejamento fosse transformada em resultados diretos no canteiro de obra durante a execução do empreendimento, foram utilizadas ferramentas, materiais e processos que estivessem em acordo com as práticas até aqui abordadas. A proposta para implementação é apresentada nas etapas elencadas, conforme Figura 14.

Figura 14 – Proposta de implantação da *Lean Construction* neste empreendimento



Fonte: O autor (2021)

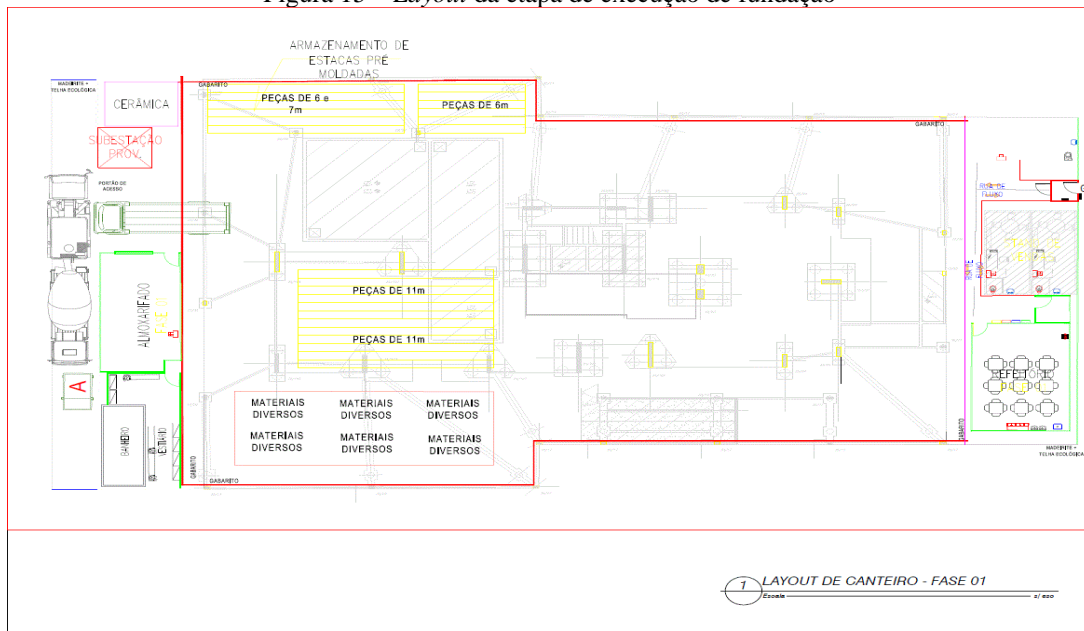
O projeto de Construção Enxuta consiste na incorporação de conceitos e premissas *Lean* dentro dos projetos executivos de cada disciplina da obra, como será ilustrado adiante. A elaboração de *layouts* de acordo com cada etapa de obra, bem como o desenvolvimento do planejamento e orçamento conceituados na Construção Enxuta atrelado à modelagem BIM, fazem parte de uma etapa pré-obra para que possam ser dadas as condições de aplicações da metodologia no canteiro, através do uso de ferramentas, materiais e práticas adotadas. Esta etapa de pré-obra se dá desde o início da aprovação do projeto nos órgãos públicos, contratação de projetistas e consultores até recebimento de projeto executivo para início das obras. Neste estudo de caso, esta etapa teve duração de 8 meses. Ao fim, a análise dos indicadores e resultados obtidos é feita e, posteriormente, melhorias discutidas para projetos e trabalhos futuros.

Com a aplicação dos itens presentes no fluxograma acima, pretende-se obter, além de um fluxo contínuo das atividades de campo, assertividade no acompanhamento de custos, do cronograma e gerenciamento ágil e em tempo real que permita ter indicadores e monitoramento do avanço físico e financeiro, proporcionando um melhor ambiente para a tomada de decisão dos gestores envolvidos nos processos.

3.3.1 *Layouts*

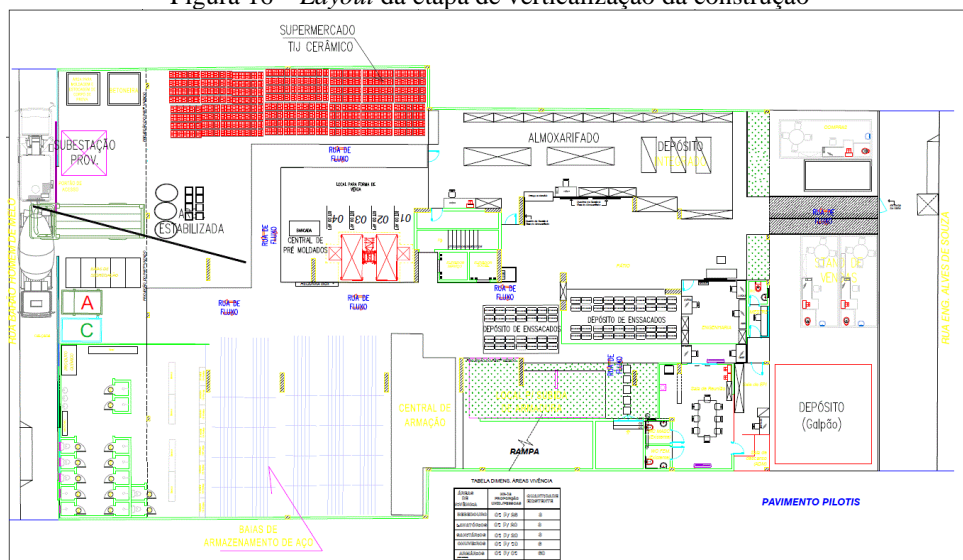
Foram desenvolvidos, inicialmente, 3 *layouts* para diferentes etapas da evolução da obra. Com isso, obteve-se um melhor aproveitamento de espaços, redução de mobilizações desnecessárias, melhor armazenamento de materiais, fluxo de máquinas e operários através do uso de vias de fluxo, por exemplo.

A Figura 15 representa o *layout* da etapa de fundação, considerando a sequência do planejamento e a disponibilidade de áreas para circulação de máquinas, armazenamento de materiais e estacas utilizadas, juntamente com áreas de vivência e estrutura com execução de serviços de obra bruta.

Figura 15 – *Layout* da etapa de execução de fundação

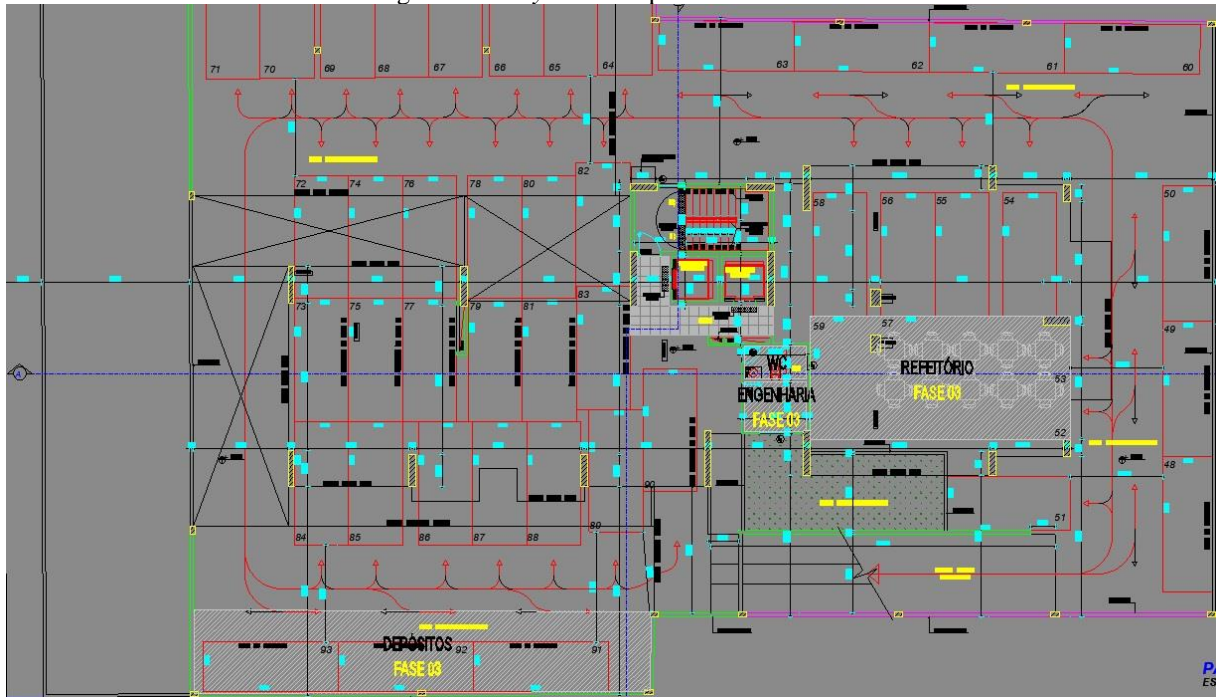
Fonte: Arquivo da empresa

A Figura 16 representa o *Layout* da etapa de verticalização da construção, com identificação de ruas de fluxo, locais adequados para materiais a serem utilizados nesta etapa, bem como demais áreas necessárias para funcionamento da logística.

Figura 16 – *Layout* da etapa de verticalização da construção

Fonte: Arquivo da empresa

Já a Figura 17 ilustra a *layout* da fase final de obra, onde a desmobilização já é iniciada e as instalações devem ter a menor interferência possível para execução e entrega das áreas nas quais as equipes e os materiais estarão alocados.

Figura 17 – *Layout* da etapa de final de obra

Fonte: Arquivo da empresa

De acordo com Formoso, Santos e Powell (2002), uma versão inicial do *layout* deve ser desenvolvida antes do início da obra e, durante todo o processo construtivo, ele deve ser atualizado de acordo com as novas necessidades da produção, pois o caráter dinâmico da construção exige alterações no *layout* a cada etapa da obra.

A atualização desses *layouts* nas diversas fases da obra permite o emprego de princípios da construção enxuta como:

- Redução de atividade que não agrega valor, possibilitando menor deslocamento do local de armazenamento dos materiais até a frente de serviço;
- Redução de tempo de ciclo, devido ao menor percurso e tempo necessário de mobilização e organização de materiais;
- Transparência do processo, permitindo a todos os envolvidos uma melhor visualização da organização e acompanhamento de estoque dos materiais em cada setor proposta em *layout*.

Ainda segundo os autores acima referidos, é essencial descrever as diferentes fases da construção e sua dinâmica. Como cada canteiro de obras tem suas peculiaridades, cada planejamento de *layout* deve ser tratado como tal. Portanto, para as fases de etapa de uma obra, a consideração sequencial dos recursos atribuídos na produção do *layout* é essencial para uma coordenação eficaz, segura e produtiva no ambiente de trabalho, proporcionando um melhor funcionamento da logística e abastecimento dos recursos de produção para as frentes de serviço.

3.3.2 Planejamento e orçamento *Lean*

Através da utilização de pacotes de trabalho, houve uma redução das frentes de serviço de obras civis dos pavimentos “tipo” de 25 para 20 pacotes, comparados com obras anteriormente executadas. Obteve-se tal redução significativa através da aglutinação de tarefas possíveis de serem executadas num mesmo pacote, pela utilização de novos processos construtivos como, por exemplo, uso de argamassa estabilizada e utilização de sistemas pré-moldados.

A Figura 18 ilustra um Pacote de Trabalho denominado “Alvenarias Periféricas” no qual foram incorporadas tarefas de menor representatividade que pudessem, tecnicamente, ser executadas simultaneamente com as elevações verticais, aglutinando serviços de contramarco, emestramento e chapisco interno, com respectivos quantitativos, equipes necessárias e tempo de ciclo. Com isso, proporcionou-se uma redução do fluxo de pessoas, materiais e, consequentemente, necessidades de supervisão nas frentes de trabalho.

Figura 18 – Pacote de trabalho de alvenaria periférica

COMPOSIÇÃO DA CÉLULA DE PRODUÇÃO 02 - ALVENARIAS PERIFÉRICAS - PAV. TIPO						EQUIPES	
PROCESSO DA CÉLULA DE PRODUÇÃO	QUANTIDADE DE SERVIÇO		PRODUTIVIDADE 1 OPERARIO/DIA		DIAS P/ 01 OPER.	PROFISSIONAIS POR EQUIPE / DIAS ÚTEIS	
						Equipe 01	
ELEVAÇÃO DE ALVENARIA BLOCO CERÂMICO	316,31	m ²	12,00	m ²	26,36	5,27	DIAS ÚTEIS NECESSÁRIOS
CONTRAMARCO PCF	1,00	und	6,00	und	0,17	0,03	
EMESTRAMENTO	934,80	m ²	50,00	m ²	18,70	3,74	
CHAPISCO INTERNO	934,80	m ²	52,00	m ²	17,98	3,60	
	TOTAL		Total dias uteis	Calculado	63,20	12,64	Calculado
				Adotado		13,00	Adotado

Fonte: Arquivo da empresa

Segundo Torquato, Fantoni e Neto (2016), o trabalho organizado em células de produção elimina desperdícios de espera de fabricação dos itens, superprodução, defeitos de qualidade e processos desnecessários. Além disso, de acordo com Turbino (1999), a adoção das células aumenta a flexibilidade do sistema produtivo e diminui a necessidade de estoque em processo entre células, pois há uma conversão mais rápida dos itens em produtos acabados.

Ainda segundo Torquato, Fantoni e Neto (2016), a expectativa com a implementação de células de produção organizadas em um canteiro de obras é otimizar tanto os tempos de processamento (o qual agrega valor ao produto) quanto os tempos de espera e transporte (os quais não agregam valor), ou seja, garantir o fluxo contínuo de produção.

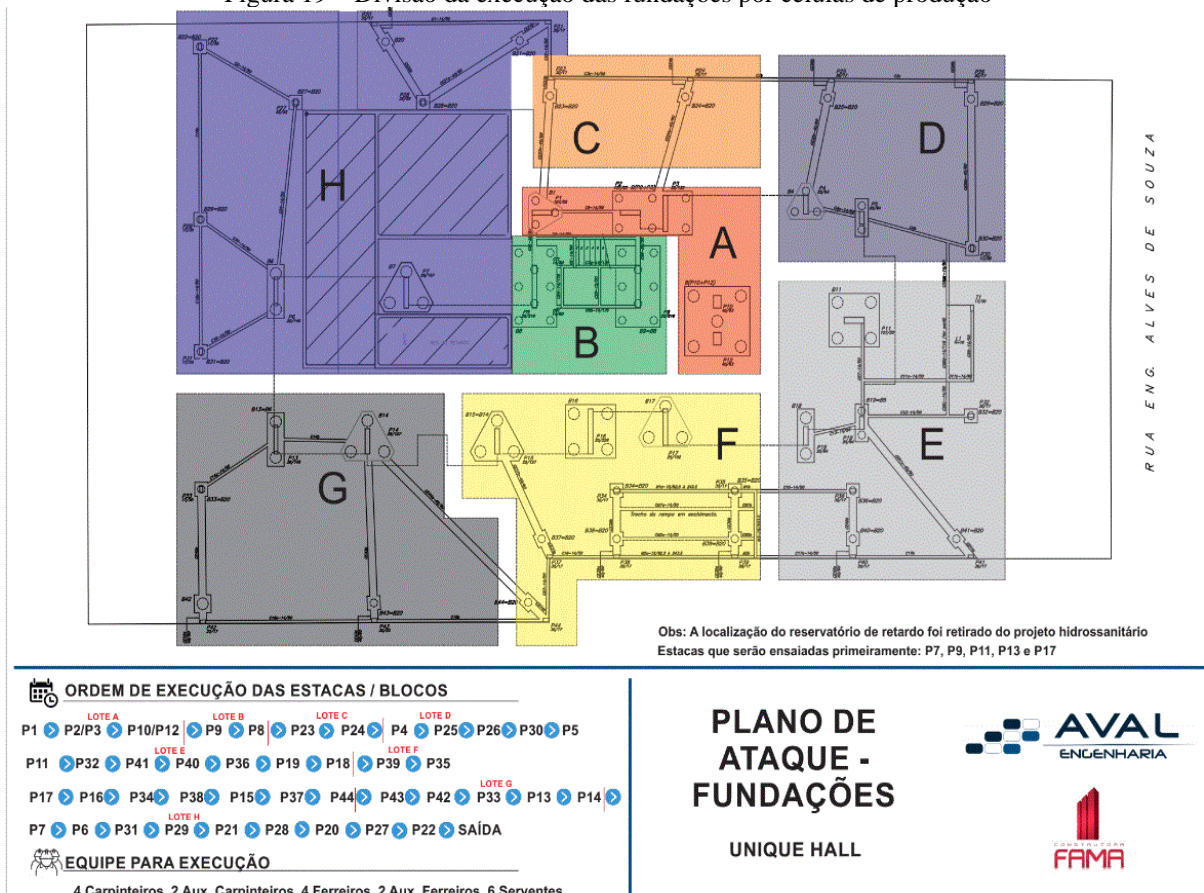
De acordo com Vargas e Formoso (2020), o planejamento baseado em células de produção ou zonas de trabalho é uma abordagem utilizada para planejar e controlar os processos da construção considerando a relação entre tempo e local. As células de produção resultam da

quebra do projeto em locais menores, que é a base para planejar, analisar e controlar o trabalho na medida em que este flui por diferentes zonas.

O uso dessa técnica possibilita além de um melhor controle de prazo, uma quantificação dos custos mais assertiva e econômica, bem como uma maior facilidade no estabelecimento de metas e motivação dos colaboradores envolvidos na produção.

Neste projeto abordado, a execução das fundações, por exemplo, foi dividida em lotes para facilitar o gerenciamento de prazos, equipes e custos, com quantitativos de material e mão-de-obra semelhantes para que pudessem manter o ritmo de produção equivalente e melhor aproveitamento dos recursos. A Figura 19 identifica a maneira com a qual as divisões das células de produção foram feitas. Esta divisão de lotes foi elaborada através da análise do melhor aproveitamento de fôrma para execução das estruturas de concreto, atrelado ao prazo disponibilizado para execução desta etapa da obra. Com isso, obteve-se um nivelamento de quantidade de serviço por lote, permitindo que houvesse um fluxo de produção estável, para melhor aproveitamento e gerenciamento de recursos.

Figura 19 – Divisão da execução das fundações por células de produção



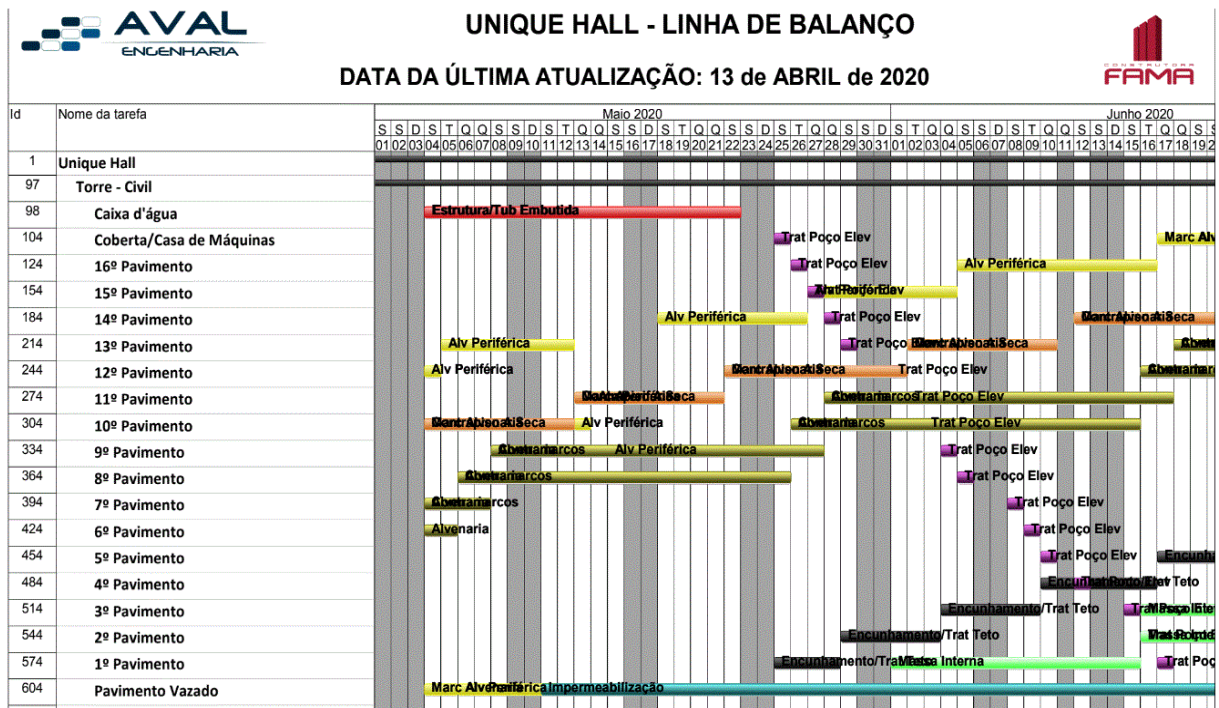
Fonte: Arquivos da empresa

A utilização das células de produção e pacotes de trabalho proporcionou a elaboração de uma linha de balanço mais fácil de gerenciar e acompanhar com o uso do *Last Planner System*. De acordo com Lorenzon (2008), outras vantagens obtidas através do uso desta técnica de planejamento são:

- Fornecimento de índices de produção e informações sobre duração das atividades na forma de um gráfico de fácil entendimento;
- Detecção de conflitos de produção;
- Possibilidade de elaboração de tabelas de programação, contendo informações sobre utilização de mão-de-obra, equipamentos e demais itens;
- Organização do ataque à obra;
- Representação do intervalo de tempo em que cada atividade deve ser executada.

Através da Figura 20, pode-se constatar os benefícios identificados por Lorenzon (2008) na Linha de Balanço elaborada para o empreendimento aqui abordado. Através desta linha de balanço, foi realizado o planejamento de todo o empreendimento, buscando o atingimento do cronograma através do acompanhamento gerencial da construção dos diversos pacotes de trabalho que compõem a evolução da edificação.

Figura 20 – Linha de Balanço - 16º mês de execução do empreendimento





Fonte: Arquivos da empresa

A partir da desagregação de pacotes de trabalho, pode-se fazer o acompanhamento de médio e curto prazo, folha de produção de curto prazo para acompanhamento diário de

produção para pacote de serviço, caracterizando o *Weekly Work Plan*, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – *Weekly Work Plan*

		CONSTRUÇÃO ENXUTA																			
		DIAGRAMA DE EXECUÇÃO																			
OBRA:		Edf. Unique Hall		RESPONSÁVEL:		Ana Santos															
SERVIÇO: ELEVÇÃO INTERNA, CHAPISCO, CONTRAMARCO E MESTRAMENTO																					
ETAPAS/ATIVIDADES		ACOMPANHAMENTO DIÁRIO																			
		1º Dia		2º Dia		3º Dia		4º Dia		5º Dia		6º Dia		7º Dia		8º Dia		9º Dia		10º Dia	
		M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
1	LIMPEZA INICIAL																				
2	CONTRAMARCO																				
3	FIXAÇÃO TELA + ELEVÇÃO ALVENARIA INTERNA																				
4	MESTRAMENTO																				
5	CHAPISCO																				
6	LIMPEZA FINAL																				
KIT DE MATERIAIS		QUANT.		OBSERVAÇÕES:																	
MATERIAL		UND.	TOTAL																		
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
				PRODUTIVIDADE:																	

Fonte: Arquivo da empresa

3.3.3 Modelagem BIM

Em busca de um melhor aproveitamento e eficiência das ferramentas do *Lean Construction*, foi desenvolvido em conjunto com o planejamento e o orçamento do empreendimento, a modelagem BIM de todas as disciplinas pertencentes ao projeto.

Segundo Zhang et al (2017), através de estudo de caso, foi validada a hipótese de que o BIM pode ser usado como ferramenta para alcançar os princípios da Construção Enxuta. Os autores ainda ressaltam que a literatura existente ilustra as interações entre o BIM e o *Lean Construction*. Ainda de acordo com os autores, algumas métricas foram estabelecidas para medir os benefícios do BIM na implantação dos princípios *Lean*. Essas métricas foram selecionadas com base nos princípios *Lean*:

- Horas de retrabalho: o retrabalho causa excesso de custo e atraso no projeto. No entanto, como o BIM reduz a quantidade de horas necessárias para o retrabalho, o custo do produto, o tempo de ciclo e a duração serão todos reduzidos da mesma maneira;

- Conflitos físicos: confrontos são descobertos nos modelos e corrigidos antes do início da construção. Descobrir esses erros no início permite-se um nível mais alto de coordenação entre diferentes contratantes e significativamente reduz os conflitos que ocorrem no campo, economizando tempo e dinheiro;
- Economia de custos: essa métrica compara o custo estimado ao custo real;
- Conformidade de prazos: essa métrica compara o cronograma estimado para confrontar com o cronograma real.

Com isso, os autores destacam que usando uma abordagem de planejamento do LPS e o modelo BIM simultaneamente, foi possível planejar a melhor sequência de trabalho entre os vários participantes, reduzindo a duração das atividades. Em termos de planejamento, atividades mal estruturadas foram modificadas e procedimentos que não agregavam valor e diminuía a produtividade foram eliminados. O BIM provou ser um recurso poderoso para habilitar a filosofia *Lean Construction*.

Através da pesquisa realizada por esses autores por meio de questionários com participantes de diversos setores do projeto, constatou-se que a aplicação do BIM em conjunto com *Lean Construction* permitiu a redução do tempo de ciclo de atividades, permitiu um maior uso de pré-fabricados nas atividades, principalmente nas relacionadas às instalações elétricas e hidráulicas e reduziu os conflitos de construção dos projetos significativamente.

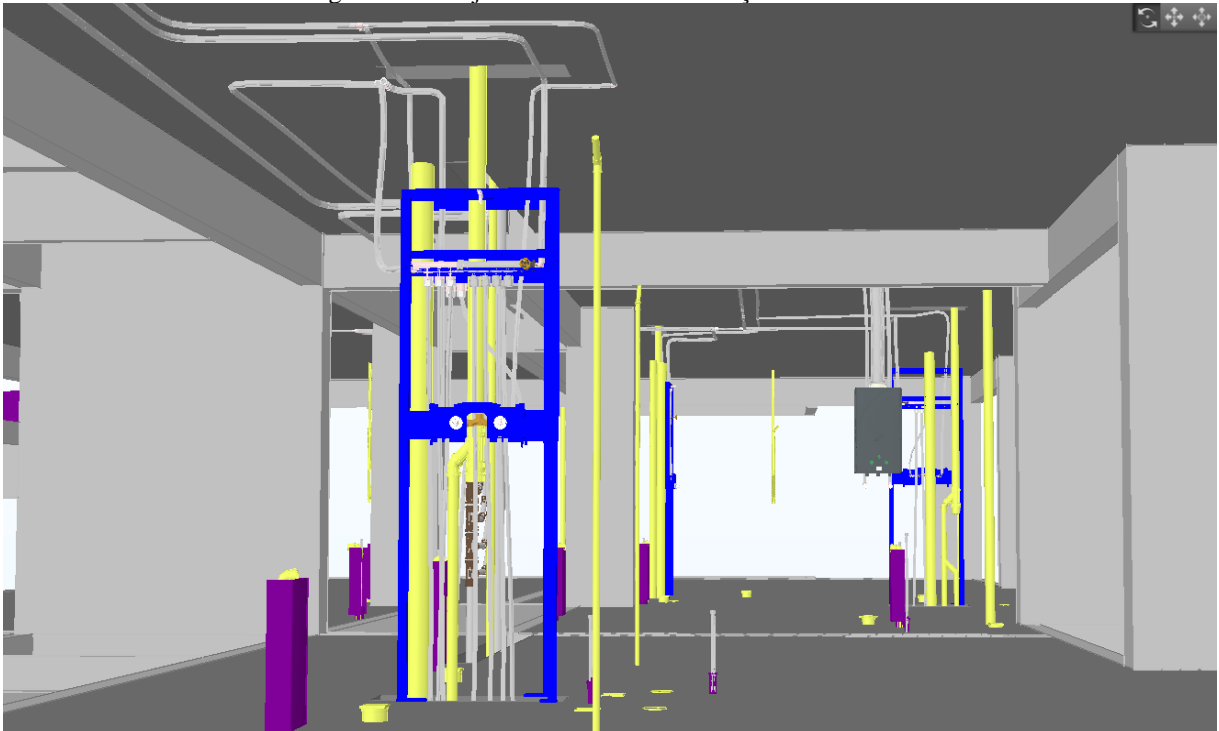
Nas Figuras 22, 23 e 24, pode-se observar modelagem de projeto estrutural, integração entre estrutura e instalações hidráulicas e plataforma utilizada para comunicação entre projetistas e coordenadores para resolver conflitos de projetos identificados nos modelos do projeto que é escopo deste trabalho. Assim, tem-se uma melhor visualização para execução assertiva e com menor margem de erro possível.

Figura 22 – Modelo estrutural do empreendimento



Fonte: Arquivo da empresa

Figura 23 – Projeto de estrutura e instalações hidráulicas

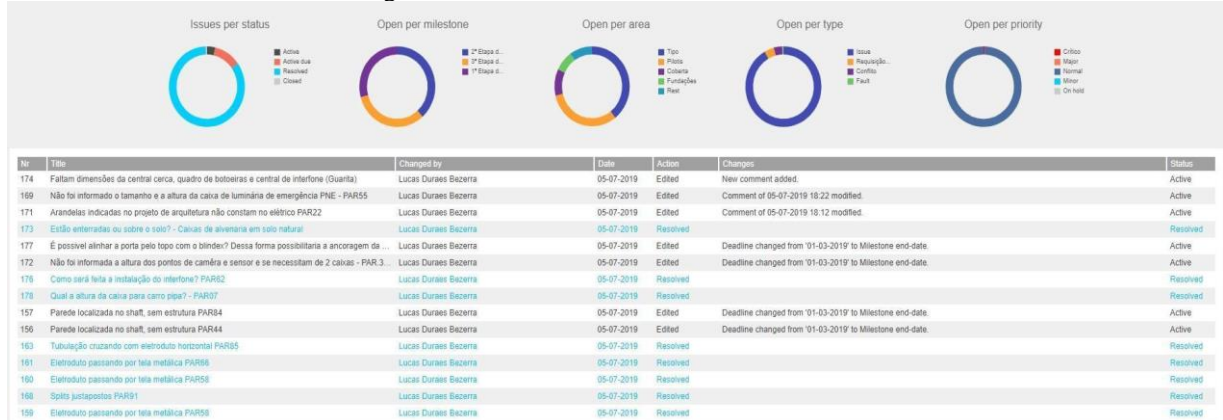


Fonte: Arquivos da empresa

A Figura 24 apresenta o ambiente colaborativo *BIM collab*, no qual as incompatibilidades foram cadastradas a partir de *clash detection* da integração dos projetos no

modelo BIM. Através desse painel, foi feita a gestão para resolução dos problemas por projetista, prioridade para solução e local de ocorrência.

Figura 24 – Ambiente colaborativo *BIM collab*



Fonte: Arquivos da empresa

3.3.4 Ferramentas, materiais e práticas de execução enxuta

A seguir são apresentados alguns materiais, ferramentas e práticas adotadas na execução do empreendimento que utilizam como base alguns dos princípios da Construção Enxuta abordados neste trabalho.

3.3.4.1 Argamassa estabilizada

De acordo com o Instituto Brasileiro do Concreto (2014), a argamassa industrializada é uma argamassa industrial úmida. Seus componentes dosados em peso são misturados com água em uma central dosadora até se obter uma mistura homogênea. São os aditivos que conseguem mantê-la trabalhável durante longos períodos de tempo sem segregação e sem perder suas características e propriedades.

A argamassa estabilizada pode chegar até a obra pronta para uso e utilizada em períodos de 36 até 72 horas, dependendo dos aditivos e da dosagem utilizada.

Segundo Rengel (2015), algumas empresas do ramo da construção civil têm experimentado a utilização das argamassas estabilizadas, como forma de diminuir o custo de mão-de-obra e agregar qualidade e padronização dos serviços que demandam da utilização das argamassas.

De acordo com as Figuras 25 e 26, percebe-se a diferença entre as operações para utilização de argamassa de revestimento tradicional e o uso das argamassas estabilizadas.

A Figura 25 apresenta o processo de armazenamento, recebimento e transporte de argamassa estabilizada pronta, reduzindo atividades de preparo e otimizando transporte e fluxo de materiais no canteiro.

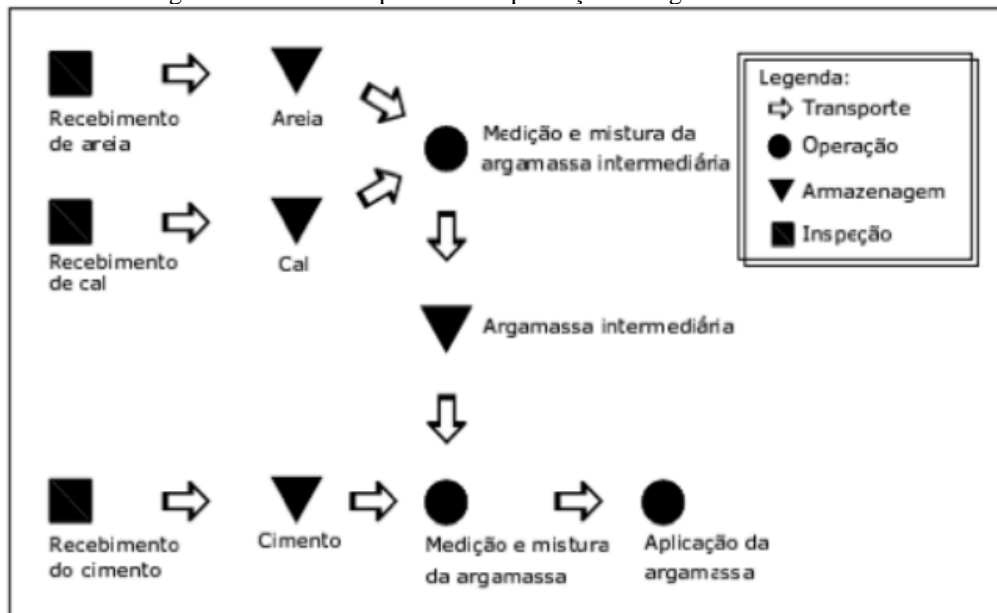
Figura 25 – Armazenamento, recebimento e transporte de argamassa estabilizada



Fonte: Arquivo da empresa

A Figura 26 ilustra o fluxo do processo de produção de argamassa tradicional no canteiro de obras, ilustrando várias etapas do processo que não agregam valor e suscetíveis a erros e falhas no produto final.

Figura 26 – Fluxo do processo de produção de argamassa tradicional



Fonte: Regattieri e Silva (2006)

Através de planejamento e parceria com a empresa fornecedora, o uso das argamassas estabilizadas proporcionou a aplicação de conceitos do Sistema Toyota de Produção e da Construção Enxuta, como:

- *Just-in-time*: não existe a necessidade de estoques. O material chega pronto para ser utilizado no mesmo dia ou no dia posterior à entrega;
- *Nivelamento da produção*: o consumo de material pode ser definido pela produtividade das equipes que estão trabalhando de forma simultânea, de modo que, independentemente da quantidade de profissionais, sempre pode-se ter a real quantidade de material para que todos trabalhem de maneira contínua;
- *Padronização*: através da mistura mecanizada e automatizada na central dosadora, os erros humanos de dosagem são minimizados e, com isso, tem-se uma entrega com menor incidência de erros e, conseqüentemente, uma qualidade melhor para o cliente final;
- *Redução de parcela de atividades que não agregam valor*: o material já chega pronto, diferentemente do sistema convencional que necessita de armazenamento, transporte e estocagem de todos os agregados que compõe a dosagem;
- *Redução da variabilidade*: através da padronização obtida pelas condições e equipamentos oferecidos pela central dosadora;
- *Simplificar o número de partes*: menor quantidade de materiais a serem inspecionados no canteiro de obra.

Ainda de acordo com o Instituto Brasileiro de Concreto (2014), a utilização das argamassas estabilizadas nas obras contribuiu nos últimos anos para melhorar a qualidade, a produtividade, a racionalização do trabalho e a redução da geração de resíduos.

No tocante à produtividade, tem-se os ganhos dos chamados “tempos mortos”, que são os intervalos de tempo de início e final da jornada do trabalho. Esses intervalos de tempo deixam de ser ociosos, uma vez que os trabalhadores não precisam aguardar a “mistura” do material para iniciarem suas respectivas atividades.

Abaixo, na Figura 27, tem-se a elaboração da composição de custos de mão-de-obra e material das soluções de utilização de argamassa em obra.

Figura 27 – Composição de custos: argamassa estabilizada x tradicional

1.0 - PRODUÇÃO MENSAL DE ARGAMASSA NA OBRA				
VOLUME POR BETONADA (LITROS)		150	OBSERVAÇÕES: Uma betoneira de 300L produz no máximo 150L por betonada. = 1.800 densidade da argamassa (kg/m³)	
NÚMERO DE BETONADAS/ DIA		24		
PRODUÇÃO m²/DIA		2,00		
DIAS ÚTEIS		22		
2.0 - MÃO DE OBRA NA OPERAÇÃO				
NÚMERO DE OPERÁRIOS		2	Valor do salário do Servente, de acordo com o Sindicato, R\$1200 (R\$5,45/ hora).	
ENCARGOS/SALÁRIOS (OPERÁRIOS)	\$	2.400,00		
TOTAL (R\$)	\$	4.800,00		
3.0 - MATERIAIS PARA 1m³ DE ARGAMASSA				
	\$	QTD	R\$/m³	1,3 m³ de areia por um m³ de argamassa
CIMENTO (Saco 50Kgs)	19,00	6	114,00	
CAL (Saco 20 Kgs)	0,00		0,00	
AREIA (m³)	40,00	1,3	52,00	
TOTAL			166,00	
4.0 - DEPRECIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS/COMPROVAÇÃO DA QUALIDADE				
DEPRECIÇÃO/LOCAÇÃO	\$/Mês	450,00	Valor da locação da betoneira de 300 litros.	
ENSAIOS LABORATORIAIS	\$/Mês	0,00		
5.0 - PERDAS				
			R\$	Salário do Pedreiro, de acordo com o Sindicato, R\$1600 (R\$7,27/ hora). Segundo estudos: >> Em média um pedreiro fica ocioso 30 minutos por dia, aguardando pela argamassa. >> 0,5m³ é a produção média por pedreiro por dia.
MATERIAIS	10%	/m³	16,60	
PEDREIROS	4		640,00	
MÃO DE OBRA (INÍCIO DA JORNADA)	44	mês		
6.0 - OUTROS (ENERGIA, ÁGUA) /m³				
ENERGIA	\$		0,42	Em média 1m³ de argamassa consome 300 litros de água. Energia: foi considerado para produção de 3m³ em 8 horas.
ÁGUA (litros)	300	\$	2,40	
7.0 - TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO				
CUSTO DA OPERAÇÃO	\$		0,00	Área para estoque, mão de obra e equipamentos de transporte (paleteiras /carros de mão) dos materiais.
LOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	\$		0,00	
8.0 - TOTAL GERAL/ m³				
CUSTOS EQUIPAMENTOS/ ENCARGOS			150,46	Custos de equipamentos / encargos: custos gerados com a locação dos equipamentos e salários / encargos gerados com mão de obra. Demais custos: corresponde ao valor do material gasto para produzir 1m³ de argamassa, somado a energia e água.
DEMAIS CUSTOS ENVOLVIDOS			168,82	
TOTAL GERAL			\$ 319,28	
COMPARATIVO ARGAMASSA ESTABILIZADA x VIRADA EM OBRA/ m³				
VIRADA EM OBRA/ m³			R\$ 319,28	% DA VIRADA EM OBRA EM RELAÇÃO A ESTABILIZADA
ARGAMASSA ESTABILIZADA - SPX			R\$ 280,00	
				14%

Fonte: Arquivo da empresa em parceria com fornecedor

Como pode-se perceber, a solução industrializada, além de proporcionar um material de qualidade final mais padronizado, possibilita uma economia de custos quando considerada toda a mão-de-obra no processo produtivo e as perdas nas atividades de fluxo intermediário que não agregam valor.

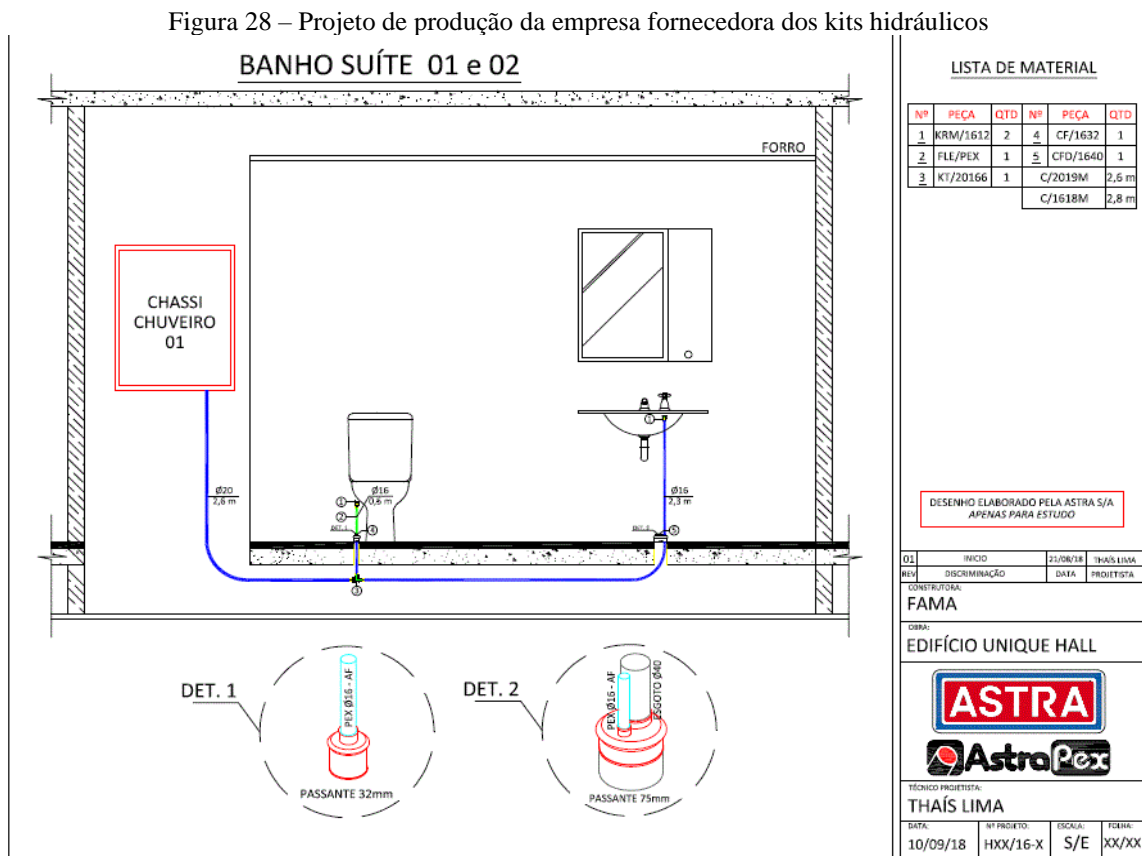
3.3.4.2 Kits hidráulicos

O empreendimento em estudo utilizou como solução para instalações de água fria e quente da edificação o Sistema PEX.

Segundo Brandão (2010), o material Polietileno Reticulado, mais conhecido como PEX, se adequa muito bem a obras com foco em alto rendimento operacional e aproveitamento de mão-de-obra, pois é um material que apresenta muitos benefícios quando comparado aos convencionais. Ele apresenta expectativa de vida útil superior a cinquenta anos, o que aumenta as garantias do produto pelos fornecedores. Se o sistema for executado por profissionais que apresentem prática neste processo executivo, o preço pode se tornar muito favorável, quando

comparado o tempo de utilização, de execução e a praticidade com outros materiais, como o Policloreto de Vinila (PVC), Policloreto de Vinila Clorado (CPVC), Polipropileno Copolímero Random (PPR), cobre, aço-carbono e ferro fundido, demonstrando que sua produtividade pode ser maior.

O sistema chamado “Ponto a Ponto” foi a tecnologia utilizada na instalação hidráulica predial. Ao eliminar as conexões, o sistema ganha facilidade e rapidez na instalação permitindo a entrega da obra em prazos mais curtos. A Figura 28 mostra o projeto de produção com as medidas, a identificação e a tipologia de cada instalação separadas por cômodos das unidades do empreendimento. Todos os itens chegaram ao canteiro devidamente identificados e com as respectivas dimensões estabelecidas *in loco*.



Fonte: Arquivos da empresa

Com relação aos *kits* industrializados, ainda podem ser mencionadas as seguintes vantagens: garantia de redução de custos, pela eliminação de qualquer desperdício de tubulação e conexão; retardo no início da execução das instalações, podendo as instalações serem executadas após as alvenarias sem nenhuma interferência técnica; padronização do serviço, possibilitando um projeto *as built* fiel à realidade da edificação, uma vez que todas as tubulações já chegam na obra com as dimensões definidas pela fábrica; garantia de estanqueidade, pois

todas as conexões montadas são testadas previamente na fábrica, proporcionando um melhor atendimento na entrega do produto final ao cliente e evitando a produção de sistemas defeituosos; eliminação de risco de extravio de material, uma vez que utilizam-se menos peças para montagem do sistema, reduzindo, assim, a necessidade de altos estoques no canteiro.

As Figuras 29 e 30 mostram, respectivamente, o processo de industrialização dos chassis de *shaft* hidráulico, com as instalações já pré-fabricadas e entregues padronizadas pelo fornecedor e a maneira como os *kits* hidráulicos PEX são entregues para o canteiro de obras.

Figura 29 – Modelo de Chassi Hidráulico para os *shafts*



Fonte: Catálogo do fornecedor ASTRA

Figura 30 – Ilustração da maneira como o material deve ser entregue



Fonte: Catálogo do fornecedor ASTRA

Além dos benefícios acima elencados pela utilização deste sistema, uma outra vantagem congruente com os princípios da Construção Enxuta é a garantia de que a execução será realizada rigorosamente conforme projeto, uma vez que todo o material é feito sob medida para cada célula de produção (no caso, os pavimentos tipo) a partir do projeto de instalações hidrossanitárias. Uma visita prévia do fabricante foi realizada *in loco* para confirmação e validação das medidas, a fim de minimizar erros e falhas no momento da execução.

3.3.4.3 Alvenaria racionalizada

O processo de construção das vedações verticais através da alvenaria racionalizada se dá através da elaboração de um projeto de produção detalhado e compatibilizado com as demais disciplinas para compor todo o escopo do sistema de vedações do empreendimento.

Segundo Lordsleem (2012), o projeto de produção é descrito detalhadamente visando facilitar o entendimento dos elementos constituintes e a execução em obra. Através do processo de racionalização das alvenarias de vedação, tem-se ações e diretrizes que objetivam otimizar o uso dos recursos disponíveis em todas as suas fases.

A Figura 31 ilustra as principais diferenças entre o sistema de execução tradicional e o sistema racionalizado.

Figura 31 – Sistema tradicional x sistema racionalizado de alvenaria de vedação

ALVENARIA TRADICIONAL	ALVENARIA RACIONALIZADA
<i>Soluções no canteiro</i>	Projeto para produção

<i>Elevados desperdícios</i>	Padronização na execução
<i>Deficiente padronização</i>	Treinamento contínuo
<i>Ausência de planejamento</i>	Responsabilidades definidas
<i>Materiais não controlados</i>	Materiais controlados

Adaptado de Lordsleem (2012)

A concepção e execução das alvenarias racionalizadas através do projeto de produção forneceu ao empreendimento condições de atingir indicadores de produtividade e tempos de ciclo para as atividades que haviam sido incorporadas no planejamento como premissa para viabilidade financeira do mesmo. Através dessa metodologia, a concepção da Construção Enxuta foi agregada em todo o processo, uma vez que as alvenarias racionalizadas proporcionam redução no tempo de transporte e armazenamento de blocos, visto que eles devem ser recebidos no canteiro em *pallets*, minimizando também as perdas por quebra no descarrego e transporte dos mesmos, conforme Figura 32.

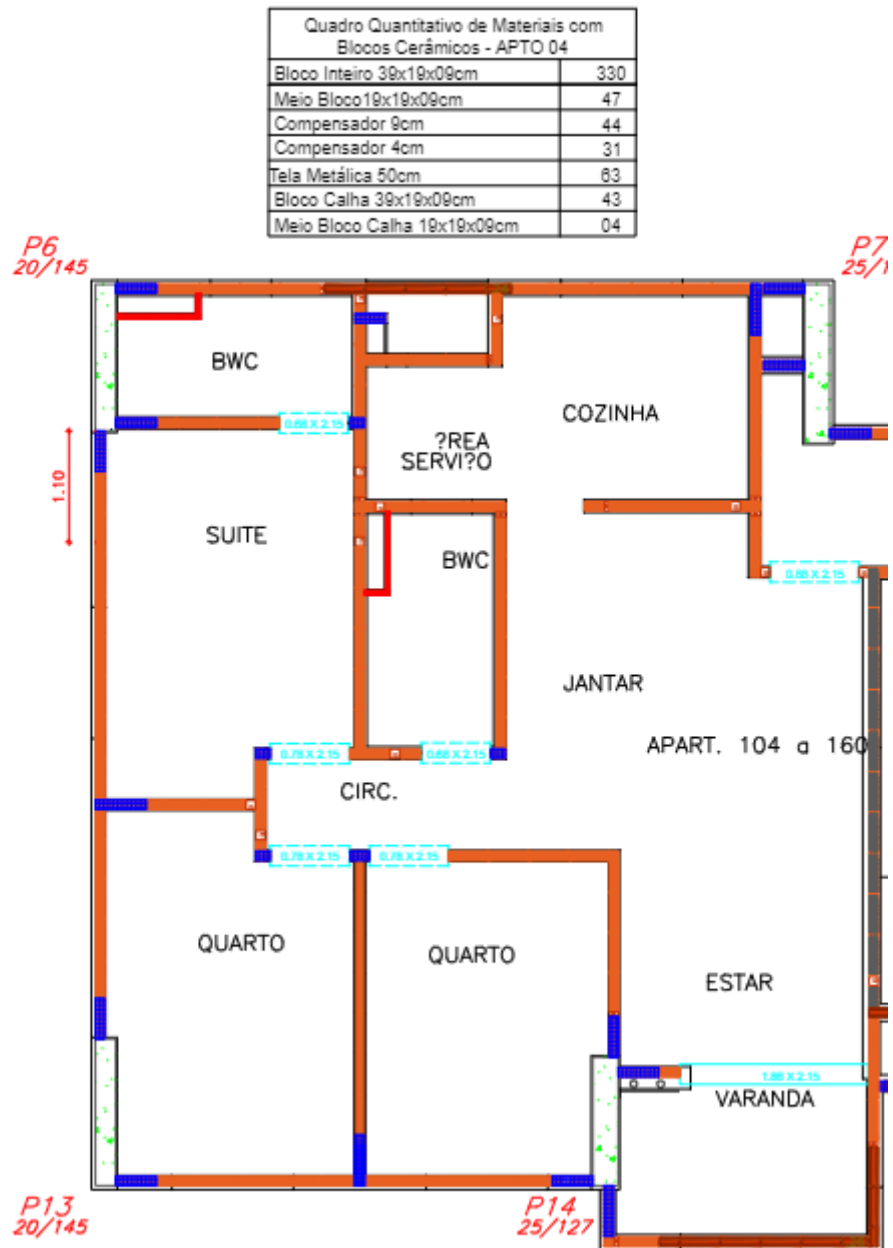
Figura 32 – Pátio de armazenamento de blocos cerâmicos em *pallets*



Fonte: Arquivos da empresa

As alvenarias racionalizadas proporcionam a definição exata da quantidade de material por frente de serviço, devido a todas as paredes serem desenhadas e moduladas de maneira específica. Tem-se a real quantidade de material a ser utilizado, evitando perdas por superprodução e possibilitando que a logística tenha condições de planejar o envio correto dos materiais de forma prévia, conforme ilustrado nas Figuras 33 e 34.

Figura 33 – Quantidade exata de material para produção de cada lote de trabalho



Fonte: Arquivos da empresa

A Figura 34 ilustra a distribuição de material na frente do serviço, antes de iniciar a execução, proporcionando um ambiente mais organizado, produtivo e com fluxo contínuo sem falta de materiais e deslocamentos desnecessários.

Figura 34 – Distribuição de material



Fonte: Arquivos da empresa

Através do uso de blocos cerâmicos normatizados frente aos tijolos do sistema convencional, tem-se uma maior padronização do material diante de uma menor variabilidade das dimensões das peças. Com esse maior controle, conseqüentemente, tem-se condições de obter menores espessuras de revestimentos proporcionando economia do material a ser aplicado.

Através do projeto de produção compatibilizado com as demais instalações, permite-se que a locação e a passagem de tubulações sejam realizadas com o mínimo de quebras e rasgos necessários na alvenaria, evitando perdas do próprio processamento de execução.

Em estudo de caso analisado por Pinho, Lordsleem e Melhado (2013), segundo pesquisa comparativa entre empreendimentos que utilizaram alvenaria racionalizada com empreendimentos que fizeram execução com sistema tradicional, constatou-se que:

- Em relação ao transporte de blocos e suas respectivas perdas e quebras, observou-se 16,5% de perda (obra convencional) e 2,3% de perda (obra racionalizada);
- Referente ao consumo de argamassa de assentamento, verificou-se um consumo de 36,3 kg/m² na obra convencional e 19,0 kg/m² na obra racionalizada.

O Quadro 3 abaixo ilustra a composição de custos comparativos entre os sistemas analisados nas obras pelos autores acima citados.

Quadro 3 – Composição de custos - obra convencional (x) e obra racionalizada (y)

	OBRA X	OBRA Y
Custo por m ² de blocos e argamassa	R\$ 18,05	R\$ 20,14
Custo da perda de blocos e argamassa por m ²	R\$ 6,15	R\$ 1,09
Custos blocos/argamassa - 8000m ² em alvenaria	R\$ 144.400,00	R\$ 161.120,00
Perda em obra de 8000m ² de alvenaria	R\$ 49.200,00	R\$ 8.720,00
Perda monetária de blocos e argamassa	34,07%	5,41%

Adaptado de Pinho, Lordsleem e Melhado (2013)

Apenas analisando os números acima, pode-se ter uma falsa impressão de que o sistema convencional é mais atrativo financeiramente. Levando-se em consideração fatores como espessura de revestimento, custo com transporte e tratamento de resíduos e custos com logística interna no canteiro de obras, o sistema racionalizado através de aspectos da Construção Enxuta traz a melhor metodologia construtiva de relação custo/benefício.

3.3.4.4 Aço C&D

Segundo Durães et al (2020), o aço é um dos principais materiais de valor agregado para empresas construtoras. Por isso, existe uma busca relevante para diminuir e compensar este custo através do uso de peças cortadas e dobradas industrialmente, com o objetivo de reduzir perdas e aumentar a produtividade da mão-de-obra de execução.

Ainda segundo os autores acima, uma das vantagens da utilização do aço cortado e dobrado é obter melhores resultados quanto ao desperdício, à redução de mão-de-obra e, principalmente, à eliminação das bancadas existentes nas obras, obtendo, assim, melhor qualidade do produto e uma entrega baseada na filosofia *Just-in-time*.

Além disso, de acordo com Kurek et al (2013), com o objetivo de atender à simplificação pela minimização do número de passos e partes, uma premissa da Construção Enxuta, as construtoras vêm buscando utilizar o aço cortado e dobrado pela fábrica, ficando para a obra apenas o processo de montagem das peças estruturais.

A industrialização das peças feitas pelas fábricas de maneira quase que totalmente automatizada permite reduzir o número de peças defeituosas que poderiam ir para as frentes de serviço, proporcionar uma maior rastreabilidade das peças através da identificação de etiquetas de fábrica (conforme Figura 35), reduzir espaços necessários no canteiro de obras, além de permitir uma maior flexibilidade dos produtos e peças que podem ser executadas facilmente pelas máquinas na própria fábrica.

Figura 35 – Identificação e armazenamento do aço em obra



Fonte: Arquivos da empresa

Em estudo de caso comparativo realizado por Durães et al (2020), percebeu-se que o custo inicial do aço é maior no processo industrial, devido a uma melhor prestação de serviço aplicada pela indústria. Entretanto, com as reduções das perdas, a eliminação de métodos na execução em obras e o aumento da produtividade, possibilita-se maior viabilidade financeira, em se comparando com aço cortado em obra.

3.3.4.5 Gestão à vista

Segundo Abdekhodae (2016), o gerenciamento visual contém todos os diferentes tipos de ferramentas e métodos que podem ser usados para visualizar informações e exibir requisitos e diretrizes. Acredita-se que, segundo o autor, o gerenciamento visual pode ser usado em dois domínios ligeiramente diferentes. No primeiro domínio, como ferramenta informativa, a gestão visual é usada exclusivamente para visualização das informações. Portanto, não tem nenhuma implicação de gerenciamento de desempenho, pois esses tipos de ferramentas não definem quaisquer requisitos. No segundo domínio, como ferramenta diretiva, além de visualizar informações, ferramentas de gerenciamento visual são usadas para exibir requisitos, definir direções e orientar ações. Luzes, sinais de passarelas de pedestres, alarme de evacuação, cartões *Kanban*, instruções de trabalho padrão (conforme usado no *Toyota Production System*) e quadros de gerenciamento *Andon/Visual* (contendo os principais gráficos de KPI e seus alvos associados) são alguns exemplos dessa aplicação de gerenciamento visual.

Para Polito (2015), a gestão à vista incentiva a participação de todos e é apropriada para comunicação de indicadores de desempenho, para externar os problemas de operação, e para garantir o acesso às informações por parte dos decisores.

De acordo com as Figuras 36, 37 e 38, percebe-se a aplicação das tipologias de gestão à vista dentro do canteiro de obras mencionado pelo autor acima.

Vale ressaltar que, além das diretrizes acima expostas, a gestão à vista possibilita uma transparência dos processos e divulgação de resultados, fazendo parte também da gestão de comunicação da organização. O quadro fica disponível para acesso de todos os circulantes pelo canteiro de obras. Dados e indicadores são atualizados periodicamente conforme realização das reuniões de análise com equipe de gestores.

Figura 36 – Quadro de gestão à vista



Fonte: Arquivos da empresa

O controle de estoque fica exposto e atualizado diariamente para que todos possam contribuir e verificar consumos e necessidades dos materiais armazenados fora do almoxarifado (Figura 37).

Figura 37 – Controle de estoque exposto e atualizado diariamente



Fonte: Arquivos da empresa

Já a Figura 38 ilustra os quadros à vista de avaliação de organização dos pavimentos e avaliação dos fornecedores, permitindo que os stakeholders que circulam pelo empreendimento tenham fácil acesso à informação e possam tomar ações para melhorias, incentivando o processo de aperfeiçoamento contínuo.

Figura 38 – Quadros à vista



Fonte: Arquivos da empresa

3.3.4.6 Projeto de fôrma pronta

Foram utilizadas no empreendimento a racionalização e a pré-fabricação das fôrmas para execução das estruturas de concreto armado.

Através da análise do projeto estrutural, foram desenvolvidos os projetos executivos de fôrma contendo as medidas e detalhes de todas as peças e componentes necessários para a montagem. Os projetos foram elaborados em parceria com empresa especializada para melhor analisar o aproveitamento de materiais e eliminar possíveis pontos de falhas que possam vir a causar uma baixa produtividade de campo. Todos os projetos serviram de guia tanto para pré-fabricação das formas quanto para a montagem *in loco*.

Ademais, como o material já chega ao canteiro pronto para montagem, reduz-se o espaço necessário no *layout* para corte e usinagem das peças.

Outras vantagens obtidas com a industrialização prévia das fôrmas que estão em consonância com a filosofia enxuta presente no empreendimento:

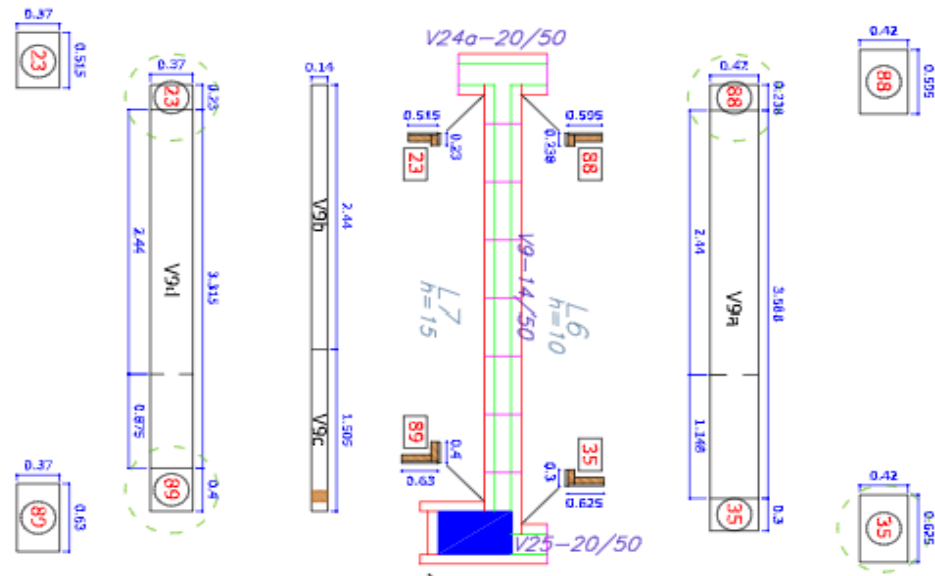
- Melhor aproveitamento da mão-de-obra possibilitando alcançar índices de produtividade mais arrojados e reduzir o tempo de ciclo da execução dos pavimentos;
- Redução de desperdício de material, uma vez que a otimização feita na usinagem através de máquinas apropriadas e estudo prévio de aproveitamento proporciona maiores ganhos em relação à montagem dentro do próprio canteiro;
- Tem-se uma maior padronização e qualidade de cortes e detalhes das fôrmas, possibilitando uma maior assertividade nas dimensões de execução, servindo, inclusive, como uma espécie de “gabarito” para conferência das medidas estruturais;
- Reduz consideravelmente o número de partes do processo todo, ficando apenas a montagem para executar *in loco*.

Além dos itens acima citados, o uso racionalizado das fôrmas através de um projeto otimizado e compatibilizado impede, quase que na totalidade dos serviços, a improvisação de recortes e reparos durante a execução.

Segundo Zhang et al (2020), esse improviso denominado de *making-do* pode ser visto como um desperdício em relação à situação em que uma tarefa é iniciada sem que as anteriores estejam concluídas, indisponibilidade de área de trabalho, falhas nas instalações provisórias, falta de equipamentos e ferramentas, entre outros.

A Figura 39 mostra um exemplo de detalhamento com nomenclaturas de peças conforme projeto executivo, para facilitar a montagem e garantir uma maior qualidade final ao produto e assertividade na execução. Pode-se ver o detalhe de montagem de uma viga com fôrma pronta especificando cada peça que deve ser encaixada para obtenção do elemento final.

Figura 39 – Detalhe de montagem de uma viga com forma pronta



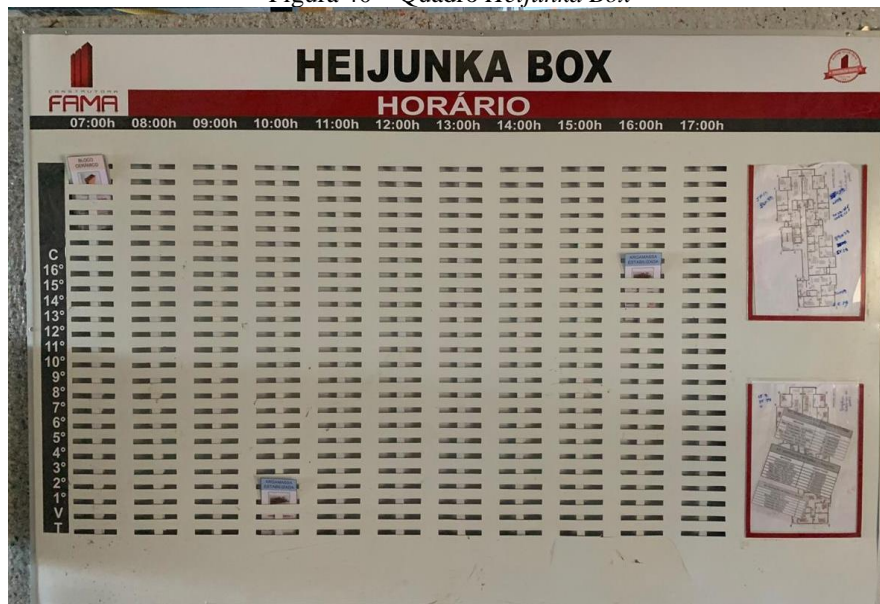
Fonte: Arquivos da empresa

3.3.4.7 Heijunka Box e Kanban

Segundo Ghinato (2000), *heijunka* trata-se de uma programação nivelada através do sequenciamento de pedidos em um padrão repetitivo e do nivelamento das variações diárias de todos os pedidos para atender à demanda no longo prazo.

De acordo com Elias (2011), um instrumento que ajuda a operacionalizar o nivelamento é o *Heijunka Box*, que consiste em um quadro de programação da produção que informa visualmente quando, o que e quanto produzir. Com o quadro, o ritmo e a sequência da produção podem ser regulados através do uso de intervalo de tempos na parte superior das colunas para ordenar visualmente os cartões *Kanban*.

Na Figura 40, é ilustrada a disposição do *Heijunka Box* com a finalidade também de auxiliar os operários a fazerem as solicitações programadas de materiais por meio da colocação dos cartões *Kanban*. Fica localizado próximo aos elevadores de transporte de materiais verticais, para facilitar o abastecimento e a logística junto aos operadores.

Figura 40 – Quadro *Heijunka Box*

Fonte: Arquivos da empresa

Na implementação desta ferramenta no empreendimento, o funcionamento se deu em duas etapas:

- a) Inicialmente, o responsável pela produção coloca os cartões (conforme Figura 42), nos locais correspondentes;
- b) Posteriormente, o operador responsável pela movimentação de materiais e logística vai ao quadro em intervalos de tempo regulares e retira os cartões, abastecendo os pavimentos na quantidade e no tempo certo. Ao final do dia, o responsável pelo estoque retira os cartões da caixa e realiza a baixa do estoque.

Os cartões *Kanban* são separados por cores para identificar diferentes tipos de material e facilitar a solicitação e a visualização dos operadores (Figura 41).

Figura 41 – Cartões *Kanban*

Fonte: Arquivos da empresa

O número de cartões *Kanban* por equipe se baseia na quantidade de material necessária para a realização do trabalho, sendo de responsabilidade da mão-de-obra o seu controle, de modo que não haja desperdício nem falta de insumos durante todo o serviço.

Percebe-se que o uso dos cartões *Kanban* junto ao *Heijunka Box*, além de sinalizar os itens estocados, tem como objetivo obter o fluxo contínuo e um ritmo de produção (puxada), conforme a demanda dos clientes (internos, geralmente) em processo em que não é possível trabalhar com estoque zero, devidos às peculiaridades e incertezas da cadeia de suprimentos e fornecedores da construção civil.

3.3.4.8 SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade


De acordo com Polito (2015), a gestão da qualidade deve ser vista como um fator crítico para o sucesso do empreendimento, uma vez que aborda aspectos tanto do produto, quanto da gestão do trabalho. A qualidade do produto está relacionada à qualidade percebida pelo cliente, representada por seu desempenho, confiabilidade, conformidade, durabilidade, estética, enfim, suas características intrínsecas.

A interação da Gestão da Qualidade com todos os setores é imprescindível para que os objetivos sejam alcançados. Através desta Gestão, diversos princípios da Construção Enxuta podem ser desenvolvidos, tais como: a) aumento do valor do produto, através do processo mais controlado e focado no cliente final, participando da adequação do produto para suas necessidades; b) redução da variabilidade, através de padronização exercida pelos processos, procedimentos e inspeções que compõem todo o Sistema de Gestão da Qualidade, conforme

Figura 42; c) transparência do processo, por meio da divulgação de indicadores, objetivos e metas, conforme ilustrado pela Figura 43; d) melhoria contínua, sendo parte de um ciclo renovável que busca sempre atingir novos objetivos e metas, almejando um melhor desenvolvimento do produto e processo.

A Figura 42 apresenta um exemplo de procedimento de execução de um dos serviços controlados pelo SQG do empreendimento. Através desses documentos, tem-se uma padronização e informação para todos os colaboradores envolvidos no processo.

Figura 42 – Execução de um dos serviços controlados pelo SQG do empreendimento

	PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO DE SERVIÇOS	CÓDIGO:	PÁGINA
		PES 21	1 de 3
	SERVIÇO: INSTALAÇÃO DE KIT PORTA PRONTA	APROVAÇÃO	REVISÃO
		19/02/2021	05

Objetivo:

- Padronizar e fornecer diretrizes para a execução racionalizada do assentamento de grades e portas e kit porta pronta.

> Riscos de execução do serviço:

- Riscos inerentes à essa atividade estão listados e criticados abaixo:

Aplicação de Kit porta Pronta		Grau de atenção
RISCO	CONSEQUÊNCIA	
Desaprumo	Maior consumo de espuma/retrabalho;	MÉDIO
Quantidade de espuma indevida	Custo/retrabalho, podendo vim a soltar	MÉDIO
<u>Alisares mal encaixados/colados</u>		<u>MÉDIO</u>

Para que os riscos listados acima não aconteçam, o procedimento abaixo deve ser seguido na íntegra. Qualquer necessidade de mudança, o gestor do processo deve ser comunicado.

Documentos de Referência:

- Projeto de arquitetura;
- Projeto de alvenaria-modulação (quando houver);
- Projeto de reforma de cliente
- NR 18 – “Condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção”.

Materiais / Equipamentos Necessários:

<ul style="list-style-type: none"> • Kit de porta pronta; • Cunhas de madeira; • Prumo de face; • Mangueira de nível, nível a laser ou nível alemão; Nível bolha; • Esquadro e trena metálica; • Estilete e lápis de carpinteiro; 	<ul style="list-style-type: none"> • Lâmina de serra; • Linha de náilon; • Dobradiças; • Fechaduras; • Serra circular de bancada com disco; • Pregos com ou sem cabeça; • Espuma de poliuretano; • Cola Branca; • Água.
---	--

Fonte: Arquivos da empresa

Além disso, para Paladini (2000), a Gestão da Qualidade no processo é um dos aspectos primordiais da aplicação nas organizações. Esse modelo gerencial centra a atenção no processo produtivo em si, partindo do pressuposto de que a qualidade deve ser gerada a partir das

operações do processo produtivo, colaborando diretamente para o desenvolvimento da Construção Enxuta na organização, contribuindo para eliminação de perdas, eliminação das causas das perdas e otimização dos processos.

Figura 43 – Indicador monitorado periodicamente pela Gestão da Qualidade

OBJETIVOS, METAS E INDICADORES				CÓDIGO: DOC 05	PÁGINA: 1 de 36			
				APROVAÇÃO: 16/10/2019	REVISÃO: 03			
OBJETIVO	META	INDICADOR	DOCUMENTO PARA REFERÊNCIAS	DATA DA MEDIÇÃO	RESULTADO	DESVIO (%)	RESPONSÁVEL PELAS INFORMAÇÕES FORNECIDAS	OBSERVAÇÕES
PESQUISA SATISFAÇÃO DOS FUNCIONÁRIOS	Attingir no mínimo nota 4,00 de satisfação dos funcionários a partir de Outubro/2019 até o final da obra Unique Hall.	Formulário de pesquisa de satisfação dos funcionários.	FORM 06 - Pesquisa de satisfação dos funcionários; FORM 54 - Satisfação de funcionários (RH)	MÉDIA 2019	4,47	27,62%	Técnico(a) em Segurança do Trabalho	
				MÉDIA 2020	4,57	14,27%		
				FEVEREIRO 2021	4,66	16,50%		
				ABRIL 2021		-100,00%		
				JUNHO 2021		-100,00%		
				AGOSTO 2021		-100,00%		
				OUTUBRO 2021		-100,00%		
				DEZEMBRO 2021		-100,00%		
				MÉDIA 2021	4,66	16,50%		

Fonte: Arquivos da empresa

Ainda segundo Paladini (2000), o *just-in-time* envolve posturas gerenciais que exigem objetividade e visão racional de processos, ações voltadas para produção da qualidade no processo, ênfase ao melhor aproveitamento de todos os recursos da organização, novas estruturas de processo e novas técnicas de produção. As relações entre a filosofia enxuta e a Gestão da Qualidade são evidentes. As mais relevantes referem-se à identidade de conceitos e à operação que ambas apresentam, como, por exemplo:

- Quanto às operações:
 - a) Ações voltadas para eliminação do desperdício;
 - b) Ações voltadas para o aumento da eficiência do processo produtivo;
 - c) Ações que envolvem melhoramento contínuo.

- Quanto aos agentes:
 - a) Operadores que desenvolvem múltiplas funções;
 - b) Operadores responsáveis pela qualidade;
 - c) Operadores que atuam de forma cooperativa e em equipe.

- Quanto aos processos:
 - a) Processos que envolvem lotes menores de produção;
 - b) Processos que utilizam só os recursos necessários e de forma otimizada.

3.3.4.9 Andon

Segundo publicação da CBIC (2011), o *Andon* (significa lâmpada em japonês), dispositivo de controle visual na forma de um quadro, permite acompanhar o avanço dos processos de trabalho, informando sobre possíveis problemas e pedidos de intervenção. Ao identificar as falhas ocorridas, o *Andon* possibilita que as providências sejam tomadas, evitando-se novos erros e melhorando o processo produtivo.

Para aplicação desta ferramenta no canteiro de obra deste estudo, inicialmente foram instalados interruptores nos pavimentos interligados por cabos conectados à sala de engenharia, onde existia um quadro de luz correspondente às respectivas cores dos interruptores, conforme Figuras 44 e 45.

Figura 44 – Painel *Andon* instalado na sala de engenharia



Fonte: Arquivos da empresa

A Figura 45 ilustra o painel instalado em cada pavimento com instruções e dispositivos de como proceder. A cor verde indica que o serviço está sendo realizado normalmente; a cor amarela indica a existência de algum problema que pode ocasionar a parada da produção, ou seja, indica iminência de paralisação; a cor vermelha representa a parada do serviço.

Figura 45 – Painel instalado em cada pavimento



Fonte: Arquivos da empresa

Ainda de acordo com Liker (2005), para o correto funcionamento do *Andon*, deve-se salientar aos colaboradores a importância de trazer à tona os problemas para que estes sejam prontamente solucionados e que atitudes devem ser tomadas de maneira que não voltem a acontecer, com o objetivo de promover rapidamente a solução para a anormalidade encontrada, tornando o processo de transparência e melhoria contínua difundido em toda a equipe.

Durante a aplicação desta ferramenta, melhorias e inovações foram incorporadas ao processo. Incrementou-se as funcionalidades de:

- a) Identificação do funcionário;
- b) Obtenção de tarefas e impressão de ordem de serviço;
- c) Possibilidade de monitoramento do *status* de múltiplas equipes em um mesmo pavimento, através do uso da estação *Agilean Andon*, representada na Figura 46 e detalhada na sequência. Este processo informatizado ainda se encontra em fase de testes e implantação.

Figura 46 – Estação instalada com chips conectados ao servidor



Fonte: Arquivos da empresa

Tradicionalmente, a operação de um *Andon* pode ser realizada por qualquer pessoa no canteiro de obras, o que dificulta o monitoramento dos trabalhos. Assim, cada operário recebe um cartão de identificação com tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*), o que permite o registro e a identificação do funcionário que informou o *status* do serviço e a qual equipe ele pertence. Isso permite ainda que o *Agilean Andon* registre os tempos de paralisações e envie alerta via SMS/Telgram para os celulares da equipe gerencial cadastrados no sistema, conforme Figura 47 (CARNEIRO et al, 2019).

Figura 47 – Fluxo de funcionamento de informações na estação de trabalho



Fonte: Arquivos da empresa

O Quadro abaixo correlaciona as principais práticas e processos implementados com alguns princípios da Construção Enxuta inerente a cada processo em particular, contribuindo, de forma geral, para aplicação do processo como um todo.

Quadro 4 – Princípios *Lean* x Processos

PROCESSOS	PRINCÍPIOS LEAN								
	Redução de atividades que não agregam valor	Aumentar valor agregado	Redução de variabilidade	Redução de tempo	Redução de nº de partes	Flexibilização	Transparência	Melhoria Contínua	Benchmarking
LAYOUTS DINÂMICOS	X			X	X		X		
LINHA DE BALANÇO		X	X		X		X		
PACOTIZAÇÃO DE SERVIÇOS	X			X					
MODELAGEM BIM	X	X	X	X	X			X	
ARGAMASSA ESTABILIZADA	X		X	X	X				
KIT'S HIDRÁULICOS	X		X	X	X				
ALVENARIA RACIONALIZADA	X		X	X	X	X			
GESTÃO À VISTA		X					X	X	X
HEIJUNKA BOX	X		X	X	X		X	X	
GESTÃO DA QUALIDADE		X					X	X	X
SISTEMA AGILEAN	X		X	X	X		X	X	

Fonte: O autor (2021)

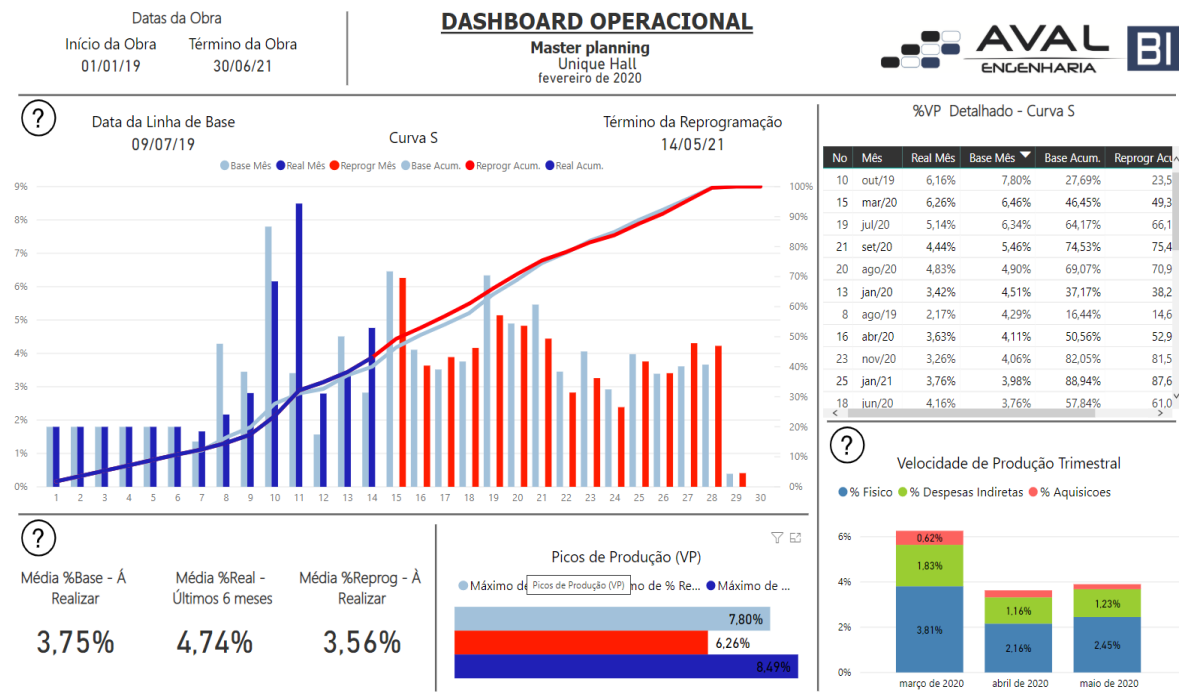
3.3.5 Análise de resultados e indicadores de desempenho

Através da análise da implantação de ferramentas e técnicas acima citadas, foram elaborados vários *Dashboards*, os quais são alimentados e monitorados periodicamente por equipe interna da empresa em conjunto com a empresa consultora contratada, por um painel de *Power BI*.

É importante destacar que deve ser levado em consideração em grande parte desses indicadores a situação da pandemia do vírus SARS-CoV de alta transmissibilidade vivenciada no início de março de 2020 até o final do empreendimento, deixando a construção paralisada totalmente de março a junho de 2020, sendo necessárias diversas outras medidas para conter o avanço do vírus através de distanciamento e isolamento social devido às recomendações das autoridades locais.

Abaixo, as Figuras 48, 49, 50 e 51 retratam, respectivamente, uma das saídas do planejamento de longo prazo (Curva “S”), *Lookahead Schedule*, o monitoramento das restrições de médio prazo e o planejamento de trabalho semanal.

Figura 48 – Painel do Master Planning

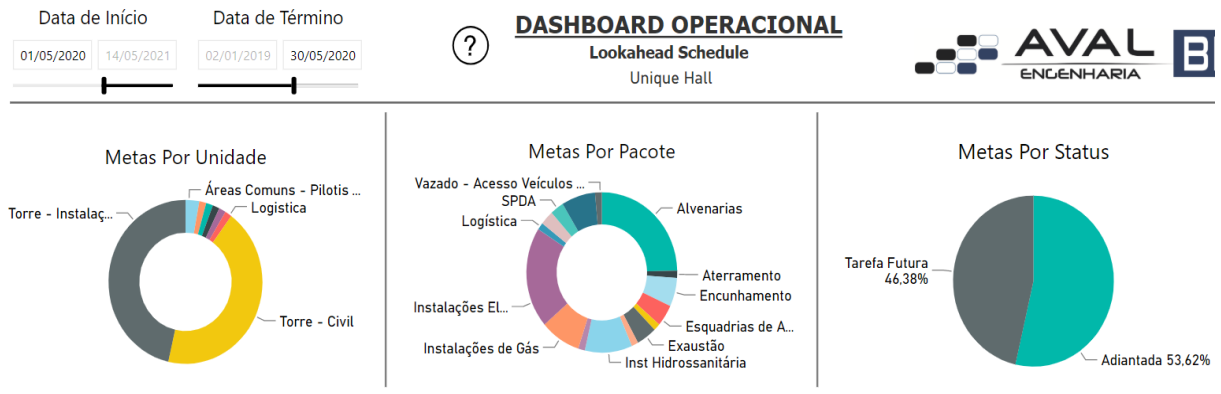


Fonte: Arquivos da empresa

Na Figura 48, tem-se a representação de avanço físico da obra em diversas formas, possibilitando uma visão macro da evolução do empreendimento.

Já a Figura 49 ilustra de maneira mais detalhada as principais metas de médio prazo que podem ser identificadas por unidade (torre, área comum, civil, instalações etc.), por pacote de serviço ou por *status*.

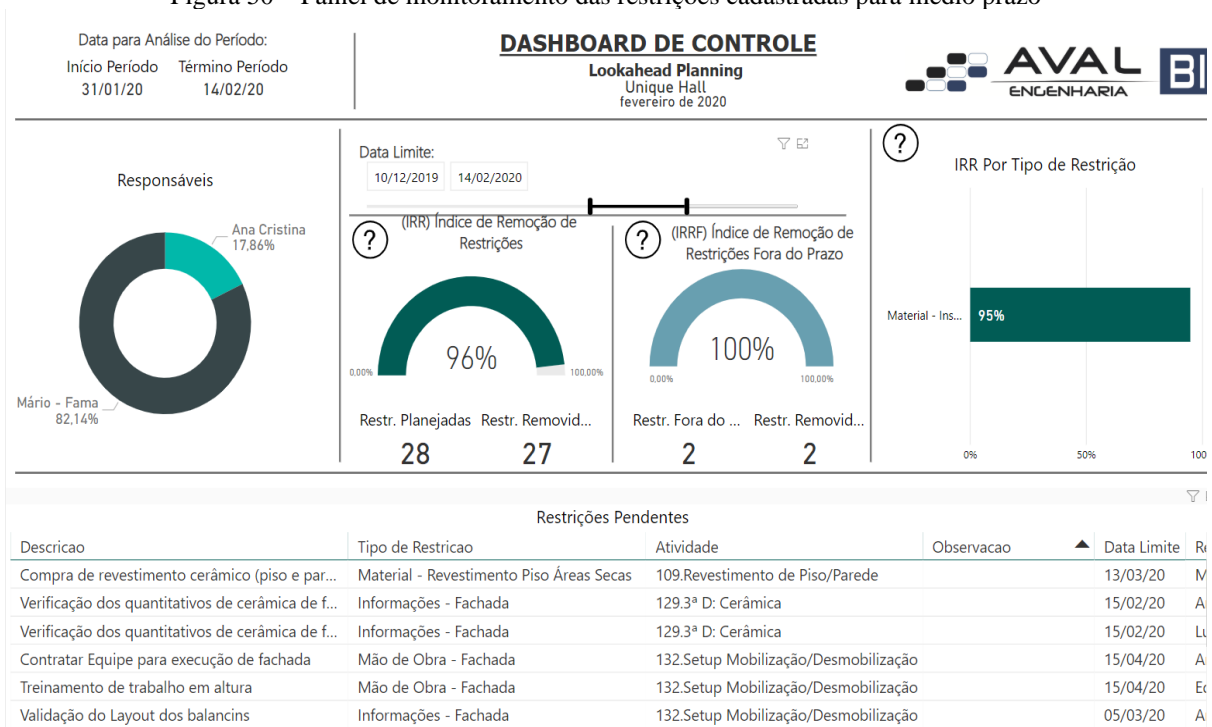
Figura 49 – Painel do *Lookahead Schedule* com metas definidas para médio prazo



Fonte: Arquivos da empresa

Na Figura 50, pode-se visualizar as principais restrições registradas a partir das reuniões de planejamento de médio prazo, com a identificação dos responsáveis e prazos de datas limites para resolução dos problemas mapeados. Com esse mapa, obtém-se o controle dos itens definidos para proteção e garantia de que a produção não seja afetada por nenhum imprevisto, seja de contratação de mão-de-obra, material, projeto ou outro tipo de entrave.

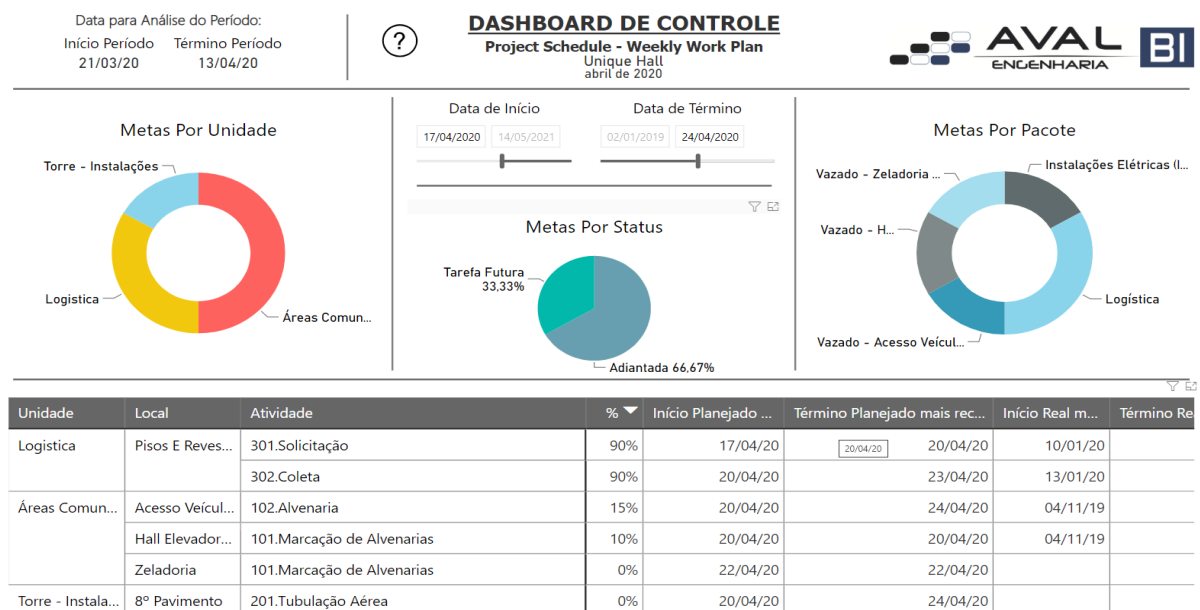
Figura 50 – Painel de monitoramento das restrições cadastradas para médio prazo



Fonte: Arquivos da empresa

A Figura 51 ilustra o planejamento de curto prazo a nível operacional que deve ser utilizado pela equipe de produção para atingimento de metas e conclusão das atividades semanais, garantindo, assim, que o avanço físico planejado no *Master Planning* seja cumprido.

Figura 51 – Painel do planejamento de curto prazo - *Weekly Work Plan*



Fonte: Arquivos da empresa

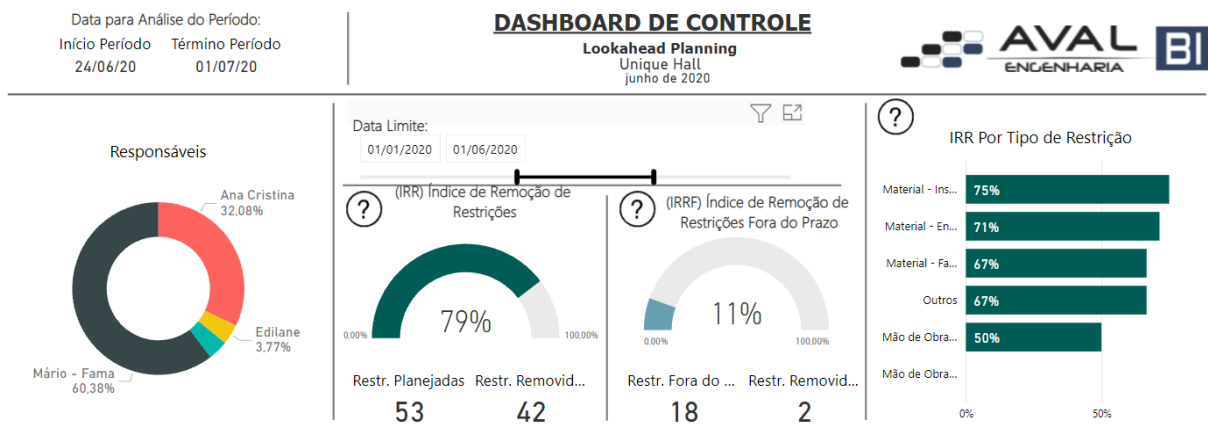
3.3.5.1 IRR – Índice de Remoção de Restrições

Conforme ilustrado na Figura 50, o IRR (Índice de Remoção de Restrição) pode ser calculado pelo percentual das restrições resolvidas em relação ao total cadastrado nas reuniões de médio prazo:

$$IRR = \text{Restrições resolvidas no prazo} / \text{Total de restrições médio prazo}$$

Na Figura 50 observa-se os indicadores do período de dezembro de 2019 a fevereiro de 2020. Já na Figura 52 abaixo, tem-se um espaço de tempo maior (semestral de 2020), para avaliação com uma base de dados mais ampla dos resultados.

Figura 52 – Painel de análise semestral do indicador de IRR



Fonte: Arquivos da empresa

Pode-se perceber que tanto no intervalo de tempo mais curto quanto no intervalo semestral, os percentuais representados, respectivamente IRR 96% e IRR 79%, retratam uma boa adesão da equipe em eliminar as restrições de médio prazo para avanço das tarefas operacionais.

3.3.5.2 IDP – Índice de Desenvolvimento de Prazo

A Figura 53, também extraída dos painéis de *Power BI* para acompanhamento do empreendimento, explana o indicador que contempla o avanço físico da obra frente ao planejado na concepção do projeto.

Figura 53 – Painel de análise global do IDP do empreendimento



Fonte: Arquivos da empresa

O valor de $0,96 < 1,0$ indica que a obra teve um atraso no avanço físico, uma vez que este indicador fornece o % da progressão do ritmo para o qual o projeto foi planejado, considerando apenas avanço físico. Isto representou um impacto de 52 dias de atraso na entrega do empreendimento, o que a diretoria julgou ser um excelente número frente ao cenário de incertezas gerado pela pandemia, falta de insumos no período, paralisação de canteiro, afastamentos e redução de colaboradores e carga horária no período de produção.

3.3.5.3 IDC – Índice de Desenvolvimento de Custos

Na Figura 54, pode-se acompanhar os indicadores referentes aos custos do empreendimento.

Figura 54 – Painel de análise de custos do empreendimento



Fonte: Arquivos da empresa

Neste *dashboard*, tem-se diversas informações financeiras do empreendimento.

De acordo com Larson e Gray (2016), o valor agregado (VA) representa o custo orçado do trabalho realizado, ou seja, dos trabalhos que foram aferidos nas medições de campo da obra. O sistema de valor agregado começa com os custos em fases cronológicas que proveem a linha de base do orçamento do projeto, chamado de valor orçado planejado do trabalho programado. O valor agregado de uma tarefa é simplesmente o percentual de conclusão vezes seu orçamento original.

Em relação aos indicadores da Figura 55, tem-se que:

VA – Valor Agregado;

CR – Custo Real, sendo este o custo incorrido para o trabalho realizado;

ONT – Orçamento no Término, ou seja, orçamento inicialmente autorizado e aprovado para execução do projeto;

IDC – Índice de Desempenho de Custos, representado pela equação:

$$IDC = VA/CR$$

ENT – Estimativa no Término do projeto, sendo este valor traduzido pela seguinte equação:

$$ENT = ONT/IDC$$

VAR – Variação de Custo, que identifica a diferença entre o valor agregado e os custos realizados do trabalho concluído até o momento, tal que

$$VAR = VA - CR$$

Avaliando os valores mapeados em junho de 2020, após a retomada da primeira paralisação decorrente da pandemia da COVID-19, o projeto apresentava um IDC=1,03, o que significava que para cada R\$1,00 gasto efetivamente na obra, até o momento havia sido concluído R\$1,03 do trabalho planejado, representando economia do projeto.

Ao final do projeto, em setembro de 2021, a gestão apontou um IDC=1,02, representando economia em relação ao planejado.

3.3.5.4 Índice de não conformidade

A mensuração do desempenho técnico é tão importante quanto a mensuração do desempenho de cronograma e custo.

Embora normalmente se presume o desempenho técnico, o oposto pode ser verdadeiro. As ramificações do mau desempenho técnico frequentemente são mais profundas: as coisas funcionam ou não caso não se atenda às especificações técnicas. A avaliação do desempenho técnico de um sistema, instalação ou produto, muitas vezes é realizada examinando-se os documentos constantes na declaração de escopo e/ou a documentação dos pacotes de trabalho. Esses documentos devem especificar os critérios e limites de tolerância em relação aos quais o desempenho pode ser medido (LARSON; GRAY, 2016, p. 409).

Através do *dashboard* apresentado na Figura 55, pode-se visualizar o mapa da situação das inspeções e correções de não conformidades registradas.

Figura 55 – *Dashboard* de inspeções da construção do empreendimento

Fonte: Arquivos da empresa

No total da obra, foram realizadas 43.383 inspeções de diversos itens, sendo:

- 92,97% dos itens em conformidade;
- 6,16% dos itens não aplicáveis à respectiva inspeção;
- 0,76% não conforme, dentre as quais 97,88% foram corrigidas.

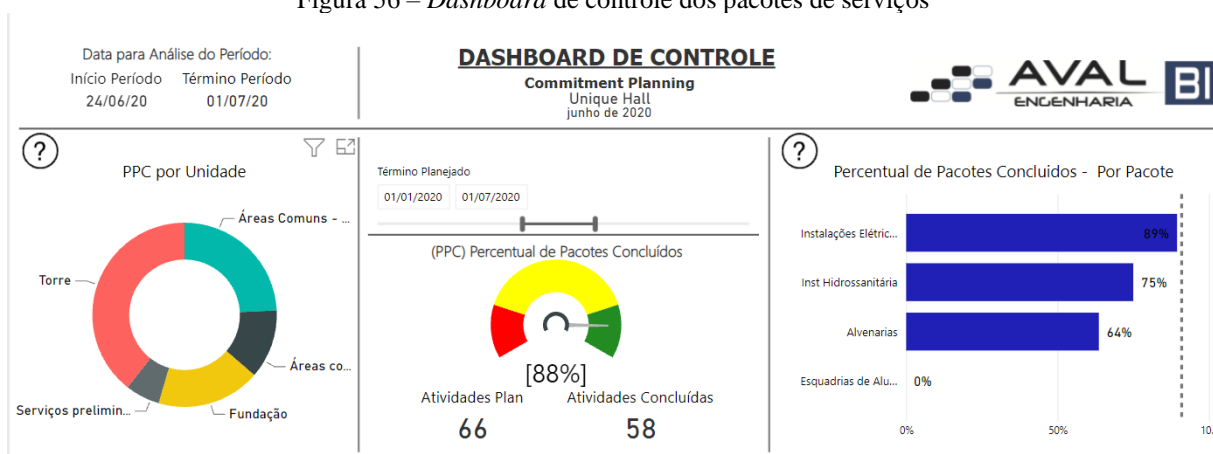
Os números atingidos superaram as expectativas definidas no programa de objetivo, indicadores e metas do SGQ da empresa, cuja meta era obter até 1% de não conformidades.

3.3.5.5 PPC – Percentual de Pacotes Concluídos

É um indicador que demonstra a adesão da equipe de campo ao planejamento de curto prazo, ou seja, confronta os serviços que foram planejados com os serviços executados na obra e completamente finalizados, avaliando também a terminalidade dos mesmos. Ou seja,

$$PPC = \frac{PACOTES\ PLANEJADOS\ EFETIVAMENTE\ CONCLUÍDOS}{PACOTES\ PLANEJADOS}$$

A Figura 56 explica um painel de monitoramento com diversos filtros nos quais pode-se visualizar o cumprimento deste indicador por tipologia de serviço e por unidade de construção do empreendimento.

Figura 56 – *Dashboard* de controle dos pacotes de serviços

Fonte: Arquivos da empresa

Percebe-se que no período acima filtrado (01/01/20 a 01/07/20), o indicador constatou que 88% dos pacotes de serviço planejados foram totalmente concluídos.

3.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O processo de implantação da filosofia da Construção Enxuta no gerenciamento e na concepção de projetos dentro da organização requer o engajamento e o envolvimento de diversos *stakeholders*. É necessário que, além dos colaboradores internos, projetistas e fornecedores participem com maior intensidade no desenvolvimento e concepção dos métodos construtivos e no fornecimento de materiais.

É perceptível que quando a concepção, o projeto e o planejamento já partem com premissas e fundamentos enxutos, a redução de etapas e processos que não agregam valor possibilita um melhor resultado financeiro e desempenho operacional, através do uso de ferramentas e metodologias construtivas baseadas nesses princípios. Além desses benefícios, a entrega padronizada e alinhada com o Sistema de Gestão da Qualidade proporciona uma qualidade do produto ao cliente final, buscando atingir os níveis de satisfação almejados pela organização.

As ferramentas de gestão do *Power BI* precisam estar integradas de forma mais eficiente com o ERP utilizado pela empresa, para que a coleta de dados referentes aos custos seja realizada da forma mais assertiva e ágil. Atualmente, os indicadores de desempenho de custo ainda são alimentados de forma manual extraídas pelos relatórios fornecidos pelo ERP. Um dos projetos em fase de implantação e testes é a integração entre o Setor de Produção, Planejamento e Qualidade através de um *software* que contemple todos esses módulos e acompanhe a produção de campo através de estações autônomas disponíveis em várias células de produção, que através de um *chip* irá alimentar todos os dados de produção por meio do uso do *Andon*

inserido dentro das próprias estações, que serão alimentadas pelos próprios colaboradores, sinalizando os demais setores, como o RH (para apontamento de horas trabalhadas) e a Qualidade (para inspeções dos serviços em andamento).

Está no *roadmap* da plataforma *Agilean* e já em fase de teste em um outro empreendimento da empresa parceira a integração das medições físicas de obra feitas nas estações *Agilean*, mencionadas neste trabalho, com o ERP, possibilitando, assim, que, a partir das medições físicas realizadas dos pacotes de serviço que constam no planejamento, automaticamente as despesas incorridas e os custos de material e mão-de-obra serão aferidos e confrontados com o orçamento, possibilitando ao gestor uma visão *just-in-time* da situação física e financeira do projeto.

Por se tratar de um projeto-piloto para a empresa, alguns indicadores foram monitorados pela primeira vez, passando por um processo de curva de aprendizagem até que se tivesse a coleta de dados de maneira mais fidedigna. Para próximos empreendimentos, estabelecer-se-á metas de indicadores mais arrojados, visto que a cultura já se encontra mais amadurecida dentro da organização. Ainda assim, os resultados dos indicadores coletados foram considerados satisfatórios e boa parte deles conseguiu atingir ou superar as metas iniciais estabelecidas no SGQ da empresa.

Através desses indicadores, consegue-se justamente mensurar a efetividade e os resultados da aplicação de boa parte das práticas descrita neste trabalho, possibilitando ter uma análise dos benefícios da implementação da Construção Enxuta.

Indicadores como avaliação da efetividade de produção das equipes por pacote de serviço, confrontando *mão-de-obra planejada x mão-de-obra realizada*, devem ser inclusos nos próximos monitoramentos a fim de avaliar o rendimento de cada equipe separada por atividade específica, possibilitando, assim, uma melhor análise dos principais serviços que precisam ser aprimorados no canteiro de obras.

Por fim, o desenvolvimento BIM deste projeto foi satisfatório para o espectro de avaliação de conflitos de projeto e melhoria do sequenciamento das tarefas, porém requer um maior aprimoramento na integração com orçamento e planejamento, de acordo com a construção do empreendimento, necessitando também de projetistas mais capacitados e familiarizados com as plataformas e *softwares* mais modernos de projeto.

4 CONCLUSÕES

4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o uso das ferramentas mencionadas, a empresa teve seu primeiro projeto formatado para fazer uso da concepção do Sistema Toyota de Produção, voltado para a realidade da construção civil e, devido aos resultados obtidos, pretende ampliar e difundir ainda mais os processos e ferramentas de maneira a buscar a melhoria contínua em todos os departamentos da organização.

Com o aperfeiçoamento deste processo de gerenciamento de obras, a organização pretende desenvolver condições para buscar projetos mais desafiadores e arrojados.

De acordo com constatado em artigo publicado por Bezerra e Alencar (2020), destaca-se, ainda, a importância de os conceitos da Construção Enxuta estarem difundidos desde a etapa prévia de construção, para que os estudos de viabilidade em termos de custos e cronograma estejam contemplados com parâmetros de planejamento e orçamento utilizados, possibilitando uma execução e monitoramento de obras eficientes.

Através do uso de práticas e ferramentas adotadas no canteiro de obras, além de uma concepção e planejamento consoante com os princípios da Construção Enxuta e uma gestão ágil e eficiente, a organização conseguiu, com o monitoramento dos indicadores, implementar um novo processo de gerenciamento de obras e, conseqüentemente, atestar o resultado e a importância da aplicação do *Lean Construction* para obtenção de melhores índices financeiros e operacionais.

Diante do uso da filosofia enxuta desde a concepção do projeto, utilizou-se conceitos, ferramentas de planejamento, métodos e materiais construtivos e metodologia BIM para atingir uma redução de custos de 2%, diminuição de despesas com logística interna através da redução de pacotes de trabalho, uma adesão de 96% em relação ao cronograma de avanço físico da obra e índice de conformidade dos serviços controlados inspecionados acima de 99%, atingindo metas do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) da organização.

Ainda de acordo com Bezerra e Alencar (2020), é importante salientar a necessidade de interação entre os responsáveis pelo planejamento e execução da obra, uma vez que para que o resultado final seja alcançado, ambos devem utilizar-se das mesmas premissas estratégicas, sabendo dos benefícios que a metodologia e ferramentas abordadas neste trabalho podem trazer, conforme os ganhos acima explanados.

Pretende-se, ao final deste trabalho, proporcionar um melhor aproveitamento dos recursos de produção nos canteiros de obras realizados dentro da empresa. Através de um novo

modelo de gerenciamento e acompanhamento, juntamente com as ferramentas de campo utilizadas, almeja-se cumprir prazos mais desafiadores e obter uma maior rentabilidade financeira através de melhores produtividades, redução de custos e uma gestão eficiente.

Por meio de treinamentos, apresentações e exposição dos resultados, planeja-se transmitir aos colaboradores os benefícios gerados com o uso correto de ferramentas e incentivá-los a buscar outras fontes de pesquisa para contribuição e melhoria do desenvolvimento da Construção Enxuta na organização.

Importante destacar a aplicabilidade dos conceitos e teorias advindas da Engenharia de Produção no setor da Construção Civil, um ramo bastante resistente a novas tecnologias e processos de trabalho. Este trabalho buscou explicar tais aplicações, podendo também servir como referência para divulgação e estudo dos processos e ferramentas tanto para graduações e cursos da Engenharia de Produção quanto Civil.

Este trabalho limitou-se à análise de apenas um canteiro de obras, sendo os dados obtidos ainda pouco representativos e sem histórico para *benchmarking* interno de outros empreendimentos.

4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por meio de divulgação e explanação deste material, procura-se integrar toda a cadeia envolvida no processo, como terceirizados, fornecedores e demais parceiros que participem do projeto construtivo.

Cogita-se, ainda, através de associações como ADEMI-PE e SINDUSCON-PE, das quais a empresa faz parte, a divulgação no meio técnico do projeto para futuras contribuições das demais partes interessadas.

Como sequência do desenvolvimento deste projeto, através das associações acima mencionadas, sugere-se a elaboração de uma guia técnico para implantação da metodologia *Lean* para todos os *stakeholders* envolvidos que não tenham conhecimento ou estrutura para desenvolvimento interno em suas respectivas organizações.

Aconselha-se, também, a implantação de ferramentas e procedimentos que tenham possibilidade de serem aplicadas em demais setores da organização, principalmente referentes à parte administrativa como comercial, contábil e Recursos Humanos. Processos padronizados, com itens de verificação para melhoria contínua, controle de prazos dos diversos projetos, divulgação e transparência dos resultados administrativos para equipe, assim como gerenciamento de restrições de médio prazo para cumprimento de metas estratégicas, podem

ser utilizados não só nos canteiros de obras conforme aplicado neste projeto, mas também junto às demais equipes que compõem a organização.

Por fim, concluir a implantação do sistema *Agilean Andon*, mencionado neste trabalho, atesta uma grande evolução da aplicação dos princípios da Construção Enxuta, possibilitando a informatização de diversas etapas, assim como a integração com setor de RH pela identificação e medição de folha de pagamento dos funcionários e com o setor de Qualidade pela abertura automatizada das inspeções dos serviços controlados, assim como permitir uma gestão ágil e eficiente mediante atualizações através de *dashboards* e aplicativos disponíveis em celulares para uso dos gestores das obras.

REFERÊNCIAS

- ABDEKHODAEI, Youness Eaidgah Torghabehi Alireza Arab Maki Kylie Kurczewski Amir. Visual management, performance management and continuous improvement: a lean manufacturing approach. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 7, n. 2, 2016.
- AL-AOMAR, Raid. A lean construction framework with Six Sigma rating. **International Journal of Lean Six Sigma**, 2012.
- ALVARENGA, T. W.; SILVA, E. N.; MELLO, L. C. B. BIM and Lean Construction: the evolution obstacle in the Brazilian Civil Construction Industry. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, 2017.
- ALVAREZ, R. R.; ANTUNES, J. A. V. *Takt-time*: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Gestão & Produção**, v. 8, n. 1, p. 1-18, 2001.
- ALVES, T. Aplicação do Lean Construction em obra de alvenaria estrutural. In: **Anais do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC**, Belém, Brasil, 2017.
- ANTUNES, J. et al. **Sistemas de Produção**: conceitos e práticas para projeto e gestão da Produção Enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- ARANTES, P. **Lean construction**: filosofia e metodologias. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade do Porto, Porto, 2008.
- AVAL ENGENHARIA. **Aplicação do Last Planner**. 2020. Disponível em: <http://avalengenharia.eng.br/ebook-last-planner-planejamento-de-obras/>. Acesso em: abr. 2020.
- AVAL ENGENHARIA. **Conceitos e Gerador Automático de Linha de Balanço**. 2020. Disponível em: <http://avalengenharia.eng.br/conceitos-e-ferramenta-automatica-de-linha-de-balanco/>. Acesso em: abr. 2020.
- BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. 2000. Thesis (Doctor of Philosophy) – School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham, Birmingham, 2000.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. Competing construction management paradigms. In: **Construction Research Congress: Wind of Change: Integration and Innovation**, p. 1-8, 2003.
- BARROS, E. S. **Aplicação da Lean Construction no setor de edificações**: um estudo multicaso. 2005. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.
- BATAGLIN, F. S. et al. BIM 4D aplicado à gestão logística: implementação na montagem de sistemas pré-fabricados de concreto Engineer-to-order. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 173-192, jan./mar. 2018.
- BAUMHARDT, E. O. **Sistemática para a operacionalização de conceitos e técnicas da construção enxuta**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BERTAGLIA, Paulo Roberto. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2003.

BEZERRA, L. D.; ALENCAR, L.H. Análise da implementação da construção enxuta na etapa de planejamento de projeto: estudo de caso em um empreendimento residencial. In: **ENEGEP XL Encontro nacional de engenharia de produção**. Foz do Iguaçu, Paraná, 2020.

BORNIA, A. C. **Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BRANDÃO, Rosana Gouveia. **Estudo da Viabilidade da Utilização de PEX, PVC e PPR em Empreendimentos Multifamiliares**. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2010.

CARNEIRO, J. Q. et al. Sistema Lean Metric: análise de um sistema de medição de desempenho para projetos de construção. In: **Anais do 10º SIBRAGEC - Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, Fortaleza, Ceará, 2017.

CARNEIRO, J. Q. et al. Indústria 4.0 e construção enxuta: o caso do sistema AGILEAN. In: **2º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção**, UNICAMP, 2019.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **Caderno de casos de inovação na construção civil**. Programa de inovações tecnológicas. Salvador/BA, 2011.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **Produtividade da Construção Civil Brasileira: CE nº 2418/14 – Projeto 015/14**. 2016. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/070.pdf>. Acesso em: mar. 2020.

CHIEN, K. F.; WU, Z. H.; HUANG, S. C. Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects: Empirical study. **Automation Construction**, p. 1-15, abr. 2014.

CHOO, H. J. et al. Workplan: constraint-based database for work package scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, 1999.

CONTE, A. S. I.; GRANSBERG, D. Lean Construction: from theory to practice. In: **10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, Gramado, Brasil, 2002.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços. Uma abordagem estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. **JIT, MRPII e OPT: um enfoque estratégico**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1992.

COSTA, Dayana B. et al. **Sistema de Indicadores para benchmarking na construção civil: manual de utilização**. Porto Alegre: UFRGS, 2005.

DEPEXE, M. D.; PALADINI, E. P. Benefícios da implantação e certificação de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras. **Revista Gestão Industrial**, v. 4, n. 2, p. 145-161, 2008.

DURÃES, Karine Fernandes et al. Utilização do aço cortado e dobrado na construção civil. **Revista Construindo**, Belo Horizonte, v. 12, n. 1, p. 76-96, jan./jun. 2020.

EATON, M. *Lean Practitioner's Handbook*. **Kogan Page Publishers**, p. 328, 2013.

ELIAS, Sérgio José Barbosa. **A influência do planejamento mestre da produção na implementação da manufatura enxuta**: o nivelamento da produção (heijunka). 2011. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FALCONI, Vicente Campos. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 6. ed. Belo Horizonte: DG, 1992.

FAZINGA W. et al. Implementation of standard work in the construction industry. **Revista Ingeniería de Construcción RIC**, v. 34, n. 3, 2019.

FILIPPI, G. A.; MELHADO, S. B. Um estudo sobre as causas de atrasos de obras de empreendimentos imobiliários na região Metropolitana de São Paulo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 161-173, jul./set. 2015.

FORMOSO, C. T.; SANTOS, A.; POWELL, J. A. An Exploratory Study on the Applicability of Process Transparency in Construction Sites. **Journal of Construction Research**, v. 3, n. 1, p. 35-54, 2002.

GHINATO, P. Elementos fundamentais do sistema Toyota de produção. In: ALMEIDA, A. T.; SOUZA, F. M. C. (Ed.). **Produção e competitividade**: aplicações e inovações. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.

GUSMÃO, A. D.; FUCALE, S. P.; FARIAS, A. B. Diagnóstico de gestão de resíduos da construção civil no município de Olinda. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, 2016.

HEIGERMOSER, D. et al. BIM-based *Last Planner* System tool for improving construction project management. **Automation in Construction**, v. 104, p. 246-254, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO – IBRACON. **Argamassa estabilizada**. 2014. Disponível em: http://www.ibracon.org.br/eventos/53CBC/pdfs/ARGAMASSA_ESTABILIZADA.pdf. Acesso em: nov. 2020.

IMAI, Masaaki. **Kaizen**: a estratégia para o sucesso competitivo. 51. ed. São Paulo: Instituto IMAM, 1994.

ISATTO, E. L. et al. **Lean Construction**: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil. Porto Alegre: SEBRAE, 2000.

KISHIDA, M. **O círculo de kaizen para a sustentação do Lean**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2009.

KO, C. H.; KUO, J. D. Making formwork construction Lean. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 21, n. 4, p. 444–458, 2015.

KOPPER, Rafael. **Construção enxuta**: a prática do princípio da transparência nos processos construtivos em empresas da grande Porto Alegre. 2012. 113 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Porto Alegre, 2012.

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. **CIFE Technical Report #72**, Stanford University, Palo Alto, California, 1992. 75 p.

KOSKELA, L. Lean production in construction. In: ALARCON, L. (Ed.). **Lean Construction**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1997.

KUREK, J. et al. Implantação dos princípios da construção enxuta em uma empresa construtora. **Revista de Arquitetura da IMED**, v. 2, n. 1, p. 20-36, 2013.

KUREK, J. **Introdução dos princípios da Filosofia de Construção Enxuta no Processo de Produção em uma Construtora em Passo Fundo-RS**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

LARSON, Erik W.; GRAY, Clifford F. **Gerenciamento de projetos: o processo gerencial**. Trad. Théo Amon. 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

LIKER, J. **O modelo Toyota: 14 Princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. São Paulo: Bookman Companhia, 2005.

LORDSLEEM, A. C.; FILHO, J. A. P. S. **Lean construction: princípios e práticas da construção enxuta**. 1. ed. Pernambuco: Edupe, 2018.

LORDSLEEM, A. C. **Melhores Práticas – Alvenaria de Vedação com Blocos de Concreto**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 2012.

LORENZON, I. A. **A Medição de Desempenho na Construção Enxuta: estudos de caso**. 2008. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

MELO, Maury. **Gerenciamento de Projetos para a Construção Civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

MICHELIS, M. H.; NETO, A. I.; MICHAUD, C. R. Aplicação de ferramentas de Gestão e Controle de Processos na Construção Civil – Estudo de caso. In: **Anais do 4º Congresso Sistemas LEAN**, UFRGS/PPGEP, Porto Alegre, 2014.

MICHLOWICZ, E. Kanban System in the Flow Control Subassemblies as a Component of Lean Manufacturing. **Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance – ISPEM**, p. 271-283, 2017.

MIROTO, M. I. M. **Implementação de ferramentas de melhoria contínua numa indústria de produtos de comunicação visual**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial e Gestão) – Faculdade de Engenharia do Porto, Porto, 2016.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**. São Paulo: IMAM, 1984.

MOTA, B. P.; ALVES, T. C. L. Implementação do pensamento enxuto através do projeto de sistema de produção: estudo de casa na construção civil. In: **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia da Produção**, Rio de Janeiro, 2008.

MOURA, R. S. L. M.; HEINECK, L. F. M. Linha de balanço - síntese dos princípios de produção enxuta aplicados à programação de obras. In: **XV Encontro Nacional de Tecnologia**

do Ambiente Construído: avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional, Maceió, Alagoas, 2014.

MUHAMMAD, A. A. et al. Adoption of Virtual Reality (VR) for Site Layout Optimization of Construction Projects. **Teknik Dergi**, v. 31, n. 2, 2019.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Trad. Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade**: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2000.

PASCAL, D. **Produção Lean Simplificada (recurso eletrônico)**: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo. Trad. Rosalia Angelita Neumann Garcia. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

PÉREZ, C. T.; COSTA, D. B. Increasing production efficiency through the reduction of transportation activities and time using 4D BIM simulations. **Engineering, Construction and Architectural Management**, Salvador, 2021.

PERETTI, L. C.; FARIA, A. C.; SANTOS, I. C. Aplicação dos princípios da construção enxuta em construtoras verticais: estudo de caso múltiplos na região metropolitana de São Paulo. In: **XXXVII Encontro da ANPAD**, Rio de Janeiro, 2013.

PERGHER, I.; RODRIGUES, L. H.; LACERDA, D. P. Discussão teórica sobre o conceito de perdas do Sistema Toyota de Produção: inserindo a lógica do ganho da Teoria das Restrições. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 18, n. 4, p. 673-686, 2011.

PFÄFFENZELLER, M. S. Lean thinking na construção civil: estudo da utilização de ferramentas da filosofia lean em diferentes fluxos da construção civil. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 7, n. 14, p. 86-107, 2015.

PICCHI, F. A. Oportunidades da aplicação do Lean Thinking na construção. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 7-23, 2003.

PINHO, S. A. C.; LORDSLEEM Jr., A. C.; MELHADO, S. B. O projeto para produção da alvenaria de vedação como ferramenta para a melhoria da gestão de perda e consumo de materiais. In: **Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2013.

POLITO, G. **Gerenciamento de obras**: práticas para a melhoria da qualidade e da produtividade. São Paulo: Pini, 2015.

PRADO, J. S.; CALDERARO, D. R.; PIRAN, F. A. Efeitos da utilização dos princípios da construção enxuta no desempenho operacional das empresas da construção civil: uma pesquisa considerando a percepção de profissionais do Rio Grande do Sul. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 498-517, 2019.

RENGEL, G. **Argamassa estabilizada**: estudo de suas propriedades. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Fundação Universitária Regional de Blumenau, Blumenau, 2015.

REGATTIERI, C. E.; SILVA, L. L. R. **Ganhos potenciais na utilização da argamassa industrializada.** 2006. Disponível em: [http://www.comunidadeconstrucao.com.br/comunidade/calandra.nsf/0/560FCD07CB7D537483256D49004C0CDA?Ganhos potenciais na utilização da argamassa industrializada.](http://www.comunidadeconstrucao.com.br/comunidade/calandra.nsf/0/560FCD07CB7D537483256D49004C0CDA?Ganhos+potenciais+na+utilizac%C3%A3o+da+argamassa+industrializada) Acesso em: 01 nov. 2020.

REZENDE, J. S.; DOMINGUES, S. M. P. S.; MANO, A. P. Identificação das práticas da filosofia Lean Construction em construtoras de médio porte na cidade de Itabuna (BA). **Engevista**, v. 14, n. 3, 2012.

SACKS, R. et al. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. **J. Constr. Eng. Manage**, v. 136, p. 968-980, 2010.

SALEM, M. et al. Lean Construction: From Theory to Implementation. **Journal of Management in Engineering**, v. 22, n. 4, p. 168-175, 2006.

SEBRAE. **Sobrevivência das empresas no Brasil.** 2016. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/sobrevivencia-das-empresas-no-brasil-102016.pdf>. Acesso em: mar. 2020.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção.** 2. ed. Trad. Eduardo Schaan. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SILVEIRA, P. C. T. Implantação do Pensamento Enxuto: Um Estudo de Caso Aplicado em Uma Grande Empresa de Software. **Espacios**, v. 36, n. 2, 2015.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção.** 2. ed. Trad. Maria Teresa Corrêa de Oliveira e Fábio Alher. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUZA, B. C.; CABETTE, R. E. S. Gerenciamento da construção civil: estudo da aplicação da “Lean Construction” no Brasil. **REGET – Revista de Gestão & Tecnologia**, v. 1, n. 2, p. 21- 26, 2014.

SOUZA, D. P. et al. Uma metodologia de implantação do sistema Toyota de produção em uma empresa de construção de edifícios a partir do suporte tecnológico do programa de inovação da construção civil do Ceará (INOVACON-CE). In: **Anais do IV SIBRAGEC - Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, Porto Alegre, 2005.

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n. 109, p. 9-25, 2005.

TIRINTAN, M. R. A.; SERRA, S. M. B. Vinculação entre os níveis hierárquicos do PCP, através de reflexões da Lean Construction. In: **Anais do IV SIBRAGEC - Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, Porto Alegre, 2005.

URIZ, L. A.; SANZ, C.; SANCHEZ, B. Aplicación de un modelo Lean-BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación. **Informes de la Construcción**, v. 71, n. 556, 2019.

VALENTE, A. C. C.; AIRES, V. M. **Gestão de projetos e lean construction: uma abordagem prática e integrada.** 1. ed. Curitiba: Appris, 2017.

VARGAS, F. B.; FORMOSO, C. T. Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho com o apoio de BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 129-151, jan./mar. 2020.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas. Lean thinking: elimine o desperdício e crie riqueza**. 6. ed. Trad. Rodrigues, A. B. e Celeste, P. M. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. A. **Máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Trad. Daniel Grassi. Porto Alegre: Bookman, 2001.

TORQUATO, M. L.; FANTONI, B. B.; NETO, A. I. The production cells at construction sites from the complex systems perspective. **Journal of Lean Systems**, v. 1, n. 4, p. 112-124, 2016.

TURBINO, D. F. **Sistemas de Produção: a produtividade no chão de fábrica**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1999.

ZHANG, X. et al. Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams. **International Journal of Construction Management**, 2017.

ZHANG, Y. A. et al. How Does Experience with Delay Shape Managers' Making-Do Decision: Random Forest Approach. **Journal of Management in Engineering**, 2020.