

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

Laura Ribeiro Andreis

**PLANEJAMENTO LOGÍSTICO DE PRÉ-FABRICADOS EM
CONCRETO: DIRETRIZES A PARTIR DE ESTUDO DE CASO
EM OBRA DE ARTE ESPECIAL**

Porto Alegre

Julho 2017

LAURA RIBEIRO ANDREIS

**PLANEJAMENTO LOGÍSTICO DE PRÉ-FABRICADOS EM
CONCRETO: DIRETRIZES A PARTIR DE ESTUDO DE CASO
EM OBRA DE ARTE ESPECIAL**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientador: Carlos Torres Formoso

Porto Alegre

Julho 2017

LAURA RIBEIRO ANDREIS

**PLANEJAMENTO LOGÍSTICO DE PRÉ-FABRICADOS EM
CONCRETO: DIRETRIZES A PARTIR DE ESTUDO CASO
EM OBRA DE ARTE ESPECIAL**

Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2017

Prof. Carlos Torres Formoso
PhD. pela Universidade de Salford / Grã-Bretanha
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Torres Formoso (UFRGS)
PhD. pela Universidade de Salford

Profa. Iamara Rossi Bulhões (UFRGS)
Dra. pela Universidade Estadual de Campinas

Prof. Daniel Tregnago Pagnussat (UFRGS)
Dr. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Carlos Torres Formoso, orientador deste trabalho, pela paciência, conhecimento compartilhado e por acreditar neste trabalho.

Agradeço à minha família, que sempre me incentivou buscar os meus sonhos, cujo apoio incondicional me fez chegar até aqui.

Agradeço ao Daniel Turra, companheiro de diversas reflexões e discussões, que certamente contribuíram para minha formação. Agradeço também ao companheirismo de sempre e à presença nos momentos bons e difíceis.

Agradeço aos colegas de trabalho que agregaram muito à minha formação, com todo conhecimento compartilhado nos últimos dois anos e pela possibilidade de desenvolver este trabalho.

RESUMO

Empresas da indústria da construção foram, por muito tempo, consideradas um exemplo de desperdício e ineficiência. Porém, com as novas exigências competitivas do mercado consumidor, muitas empresas deste setor vêm passando por um processo de reestruturação de seus sistemas de produção, com a adoção de conceitos e princípios do Sistema Toyota de Produção. Com frequência, esta reestruturação está ligada à introdução de tecnologias construtivas industrializadas, por meio da transferência de algumas etapas de atividades a ambientes controlados em fábricas. No entanto, a utilização de elementos pré-fabricados em obras resulta, muitas vezes, na desconexão entre o processo de manufatura e a montagem na obra, resultando em grandes estoques de produção. Neste cenário, este trabalho apresenta como objetivo principal a proposição de diretrizes para integrar o planejamento logístico entre fábrica e obra de sistemas pré-fabricados. Para isto, foi realizado um estudo de caso em uma obra de arte especial em Porto Alegre na qual os elementos pré-fabricados são fabricados e montados. Primeiramente, os processos de projeto e planejamento foram estudados, juntamente com as condições contratuais. Logo, os processos logísticos de fabricação, transporte e montagem são descritos e discutidos, tendo como referência a revisão de literatura, que aborda conceitos de gestão da produção, planejamento de obras e gestão logística. Por fim, foram propostas diretrizes para a integração dos processos logísticos entre a fábrica de elementos pré-fabricados e a obra, em diferentes níveis hierárquicos.

Palavras-chave: Planejamento Logístico de Obras. Pré-Fabricação. Obras de Arte Especial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de Produção como Transformação.....	16
Figura 2 – Modelo de Produção TFV.....	17
Figura 3 – Ciclos de Planejamento.....	23
Figura 4 – Pirâmide da Estratégia Logística.....	28
Figura 5 – Volume-variedade e o tipo de <i>layout</i>	30
Figura 6 – Delineamento da pesquisa.....	36
Figura 7 – Extensão da obra.....	42
Figura 8 – Exemplos de uso de treliça lançadeira para montagem de vigas pré-fabricadas.....	43
Figura 9 – Exemplo de ponte executada em balanços sucessivos.....	43
Figura 10 – Visão geral do processo de projeto do empreendimento.....	46
Figura 11 – Visão geral do planejamento e controle de produção do empreendimento...	47
Figura 12 – Canteiro industrial A.....	49
Figura 13 – Canteiro industrial B.....	49
Figura 14 – Vista aérea da fábrica.....	50
Figura 15 – Percurso do transporte entre fábrica e obra.....	51
Figura 16 – Identificação de peças.....	52
Figura 17 – Status das famílias estudadas.....	54
Figura 18 – Índice de repetitividade das famílias estudadas.....	54
Figura 19 – Localização do canteiro administrativo no empreendimento.....	55
Figura 20 – Canteiro Administrativo.....	56
Figura 21 – Canteiro Administrativo.....	56
Figura 22 – Área do canteiro destinada para estoques.....	56
Figura 23 – Montagem de blocos de fundação em obra.....	60
Figura 24 – Estoque de peças de vigas-laje próximas ao local de aplicação.....	62
Figura 25 – Tempo de estoque de peças fabricadas e montadas.....	63
Figura 26 – Planejamento de longo prazo: integração projeto-fabricação-montagem.....	66
Figura 27 – Integração entre planejamento fábrica e obra.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Componentes da Gestão Logística.....	32
Quadro 2 – Fontes de evidências utilizadas na pesquisa.....	38
Quadro 3 – Quadro técnico da fábrica.....	50
Quadro 4 – Família das peças estudadas.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados utilizados referentes à fabricação e montagem	57
Tabela 2 – Média do número de peças fabricadas e montadas por dia trabalhado.....	58

LISTA DE SIGLAS

JIT – *Just-in-Time*

PPC – Percentual de Pacotes Concluídos

SLP – Sistema Last Planner

TFV – Transformação-Fluxo-Valor

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

WIP – *Work in Progress* (ou Trabalho em Progresso)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	13
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA	13
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	13
2.2.1 Objetivo principal	13
3.3.1 Objetivo secundário	13
2.3 DELIMITAÇÕES.....	13
3 GESTÃO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO.....	15
3.1 CONCEITOS BÁSICOS DA GESTÃO DA PRODUÇÃO	15
3.1.1 Princípios da Gestão da Produção	17
3.1.2 Just-in-time (JIT)	18
3.1.3 Perdas na Produção	19
3.1.4 Produção Puxada e Empurrada.....	19
3.1.5 Fluxo Contínuo.....	21
3.2 PROCESSO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE NA CONSTRUÇÃO.....	22
3.2.1 Dimensões do Planejamento e Controle.....	22
3.2.2 O Sistema Last Planner.....	24
3.2.2.1Planejamento de Curto Prazo	25
3.2.2.1Planejamento de Médio Prazo	26
4 GESTÃO LOGÍSTICA DE PRÉ-FABRICADOS.....	27
4.1 CONCEITOS BÁSICOS DA GESTÃO LOGÍSTICA.....	27
4.1.1 Logística.....	27
4.1.2 Layout.....	28
4.2 GESTÃO LOGÍSTICA NA CONSTRUÇÃO	30
4.3 GESTÃO LOGÍSTICA DE PRÉ-FABRICADOS.....	32
5 MÉTODO DE PESQUISA.....	35
5.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	35
5.2 DELINEAMENTO.....	36
5.3 FONTES DE EVIDÊNCIA.....	37
5.3.1 Observação direta.....	38
5.3.2 Observação participante.....	39

5.3.3 Documentação de imagens através de fotografias.....	39
5.3.4 Análise de documentos.....	39
5.3.5 Entrevistas abertas.....	40
6 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	41
6.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E DA OBRA ESTUDADAS.....	41
6.2 DESCRIÇÃO DO CONTRATO.....	44
6.3 PLANEJAMENTO LOGÍSTICO EXISTENTE.....	45
6.3.1 Visão geral do processo de projeto e do planejamento e controle de produção.....	45
6.3.2 Produção de elementos pré-fabricados.....	49
6.3.2.1 Instalações fabris.....	49
6.3.2.2 Identificação das peças.....	52
6.3.2.3 Família de peças.....	52
6.3.3 Layout do Canteiro de Obras.....	55
6.3.4 Diagnóstico dos processos logísticos existentes.....	57
6.3.4.1 Família de Estacas.....	58
6.3.4.2 Família de Blocos de Fundação.....	59
6.3.4.3 Família de Vigas-Laje.....	61
6.3.4.4 Discussão.....	62
7 DIRETRIZES PARA A GESTÃO LOGÍSTICA DE PRÉ-FABRICADOS.....	65
7.1 PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS PARA A GESTÃO LOGÍSTICA DA OBRA ESTUDADA.....	65
7.2 DIRETRIZES.....	68
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção é historicamente reconhecida por utilizar processos produtivos com características artesanais. De acordo com Formoso (2001), este setor apresenta baixa produtividade, perdas elevadas e baixa qualidade em seus produtos, principalmente devido à falta de eficácia no planejamento e controle da produção. Além disso, de acordo com o referido autor, poucas empresas possuem esses processos bem estruturados, por mais que tenham ciência da importância dos mesmos e dos seus baixos custos de implementação.

A execução de estruturas de concreto moldadas no local pelos métodos tradicionais tende a consumir uma parcela substancial das obras, particularmente no caso de obras de arte especiais. Entretanto, a demanda atual por um rápido retorno no investimento está se tornando cada vez mais importante, sendo necessários processos de produção mais eficientes e rápidos, levando a indústria da construção à industrialização (VAN ACKER, 2002).

De acordo com Matt et al. (2014), a utilização de elementos pré-fabricados é uma das soluções para a industrialização da construção civil. Este sistema construtivo retira grande parte dos processos executivos do canteiro de obras para um local cujas condições são controladas, obtendo ganhos de qualidade e, posteriormente no canteiro de obras, produtividade. Pode-se destacar, dentre as várias vantagens atribuídas ao uso de elementos pré-fabricados de concreto, a garantia de qualidade das peças, o uso otimizado de materiais, menor tempo de construção e economia na mão de obra (VAN ACKER, 2002).

Os desafios do uso de pré-fabricados normalmente surgem após o processo de fabricação das peças, ou seja, na logística de transporte dos elementos prontos e na colocação dos mesmos nos locais definidos de utilização. Revel (1973) salienta a importância do estudo e preparação das atividades e a necessidade de prever, com precisão, o tempo de montagem e o dimensionamento dos equipamentos de transporte e elevação, devido ao peso e porte dos elementos. Deve-se também planejar e projetar equipamentos de proteção coletiva alinhados ao cronograma de montagem em obra.

No entanto, alguns estudos realizados acerca da sincronia da produção de componentes pré-moldados na fábrica e o processo de montagem na obra, apontaram que existe uma desconexão

entre ambos (MATT et al., 2014), podendo gerar diferentes tipos de perdas, tais como trabalho em progresso, esperas, transportes desnecessários, entre outros (BULHÕES, 2009).

Em busca da melhoria dos sistemas pré-fabricados de concreto, visando maior racionalização e eficiência, é de suma importância a adoção de conceitos e técnicas adequados para a realização do planejamento de *layout* e da logística. É considerável o número de trabalhos recentes que sugerem a adoção de conceitos e ferramentas da filosofia da produção enxuta (*Lean Production*) em sistemas construtivos de pré-fabricação. Neste cenário, existe a necessidade de melhorar o planejamento e controle logístico de obras nas quais são utilizados sistemas pré-fabricados de concreto.

Reconhecendo a importância do planejamento e controle logístico em obras de sistemas pré-fabricados, esta pesquisa visa a estudar os processos inerentes da adoção deste sistema produtivo em obras de grande porte, através de um estudo de caso em uma obra de arte especial. A viabilidade de um empreendimento de obra de arte especial pode ser decidida pela adoção de pré-fabricação, não só por permitir a execução da infra e mesoestrutura simultaneamente, mas também por fabricar peças num cenário controlado de produção industrial (NAKAMURA, 2012). O objetivo é compreender o relacionamento entre fábrica e obra em empreendimentos com peças de grande peso e volume, elevado número de incertezas, tais como a vulnerabilidade a intempéries, e poucos tipos de atividades ocorrendo simultaneamente.

O empreendimento estudado nesta pesquisa é uma obra de infraestrutura no estado do Rio Grande do Sul, que tem um papel fundamental no transporte entre a Região Metropolitana de Porto Alegre e o sul do estado. Este projeto contempla a execução de trechos em obras de arte especial e terraplenagem. A estrutura da obra de arte especial utiliza elementos pré-fabricados de concreto, os quais são produzidos em dois canteiros industriais, próximos ao local da obra.

Este trabalho apresenta, além desta introdução, mais cinco capítulos. O segundo capítulo apresenta as diretrizes desta pesquisa, incluindo as questões e objetivos da mesma, e as delimitações do trabalho. O terceiro e o quarto apresentam a revisão bibliográfica acerca da gestão da produção e da construção civil e conceitos específicos gestão logística de obras e de pré-fabricados. O quinto capítulo apresenta o método de pesquisa utilizado, contendo as fontes de evidências empregadas, e no sexto capítulo é desenvolvida a pesquisa. Logo, no sétimo

capítulo consta a análise e reflexão dos resultados provenientes desta pesquisa e, por fim, são apresentadas as considerações finais.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

Para a elaboração deste trabalho foram feitas diretrizes de pesquisa que contemplam: questão da pesquisa, objetivos principais e secundários e delimitações.

2.1 QUESTÃO DA PESQUISA

A questão da pesquisa do trabalho é: como integrar o planejamento e controle logístico entre fábrica e obra de sistemas pré-fabricados em concreto, em obras de arte especial?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal desta pesquisa consiste em propor diretrizes realizar de forma integrada o planejamento e controle logístico da produção de componentes pré-fabricados em concreto na fábrica e do processo de montagem em obra, a partir de um estudo de caso em um empreendimento de obras de arte especiais.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário do trabalho consiste em propor melhorias para o planejamento logístico da obra estudada.

2.3 DELIMITAÇÕES

São delimitações do trabalho:

- a) o estudo de caso foi realizado em uma obra de infraestrutura com trechos em água e terra na cidade de Porto Alegre - RS;

- b) o estudo foi realizado em um período da obra, não contemplando toda duração do empreendimento; e
- c) A autora trabalhava na obra, sendo possível que a sua vivência no empreendimento resultou em algum tipo de viés na coleta e análise dos dados.

3 GESTÃO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO

Este capítulo trata de conceitos relativos à gestão da produção na construção civil. Inicia-se com a contextualização do trabalho, apresentando conceitos básicos da gestão da produção. Logo, apresentam-se os conceitos relativos ao planejamento e controle da produção na construção civil, com a descrição das etapas que norteiam estes processos e a caracterização do sistema *Last Planner*.

3.1 CONCEITOS BÁSICOS DA GESTÃO DA PRODUÇÃO

A década de 1970 é marcada pela inserção de um novo paradigma de gestão da produção em diversos setores industriais. O cenário de instabilidade econômica do Japão no pós-guerra favoreceu o desenvolvimento de princípios e práticas que revolucionaram a gestão da produção até então empregada mundialmente, em termos de qualidade, velocidade e preço, o Sistema Toyota de Produção (LEVINE; LUCK, 1994).

Diversos conceitos e técnicas foram estabelecidos e relacionados a este novo paradigma - como o *Just-in-Time*, *Total Quality Control*, dentre outros – porém é difícil delimitar cada um, uma vez que eles estão em constante mudança e muitas vezes suas abordagens se sobrepõem. (KOSKELA, 1992).

O livro de Womack *et al.* (1992), “A Máquina que Mudou o Mundo”, apresenta a denominação Produção Enxuta como uma tentativa de generalizar este novo paradigma de gestão da produção. Conforme os referidos autores, a produção enxuta é focada na eliminação de qualquer trabalho desnecessário na produção de um bem ou serviço, sendo assim ‘enxuta’ por utilizar menores quantidades de tudo quando comparada à produção em massa.

Koskela (1992) propôs a aplicação do novo paradigma de gestão da produção na construção civil, indicando que representa uma grande oportunidade para melhoria e a solução de problemas crônicos do setor. Entretanto, de acordo com o autor, a aplicação destes conceitos na construção deveria ser um interesse de acadêmicos e profissionais.

O modelo tradicional de processo de produção é questionado do ponto de vista conceitual. O processo de produção é considerado como transformação das matérias primas (*inputs*) em produto final (*output*), conforme figura 1 (KOSKELA, 1992).

Figura 1 - Modelo de Produção como Transformação



(fonte: adaptado de Koskela, 1992)

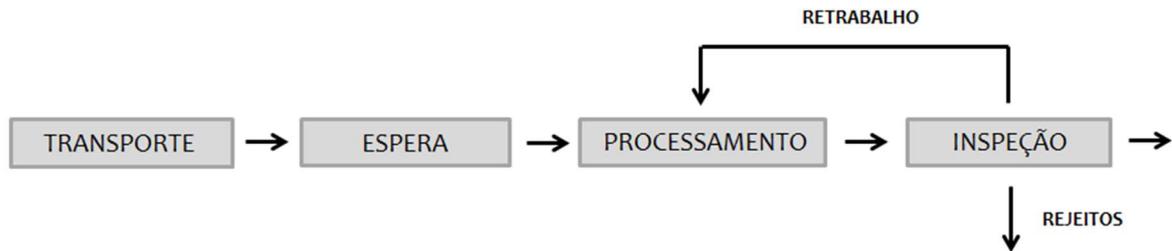
Este modelo, conforme o mesmo autor, apresenta as características abaixo:

- a) O processo de transformação pode ser subdividido em subprocessos, também em processos de transformação;
- b) O custo total do processo pode ser diminuído ao se reduzir o custo de cada subprocesso;
- c) O valor do produto final está associado ao custo (ou valor) das matérias primas e da mão de obra.

A visão da produção como transformação apresenta uma série de deficiências, das quais destacam-se a não consideração das atividades entre os fluxos de transformação (fluxos de materiais e de mão de obra), a tendência de focar nas melhorias dos subprocessos e não do processo como um todo e a não consideração dos requisitos dos clientes no processo (ISATTO et al., 2000).

Koskela (2000) propôs a teoria TFV (Transformação-Fluxo-Valor), contendo um conjunto de conceitos e princípios básicos. Segundo esta teoria, os processos são compostos por atividades que agregam valor, a transformação propriamente dita, e por atividades que não agregam valor, tais como movimentação, espera e inspeção (KOSKELA, 1992), conforme figura 2. Por sua vez, de acordo com Isatto et al. (2000), a conceitualização da produção como geração de valor consiste em considerar de forma sistemática os requisitos dos clientes na definição dos processos.

Figura 2 - Modelo de Produção TFV



(fonte: adaptado de Koskela,1992)

Shingo (1996) destaca a importância de se analisar o comportamento humano na produção, no tempo e no espaço, através da observação das seguintes operações:

- a) operação de setup: atividades antes e depois das operações, como ajustes de ferramentas e preparação de dispositivos;
- b) operações principais: execução do trabalho;
- c) folgas não ligadas ao pessoal: tempo no qual os operadores não estão realizando atividades ligadas ao produto final;
- d) folgas ligadas ao pessoal: tempo no qual os operadores estão executando atividades irregulares, seja por fadiga ou necessidades do operador.

3.1.1 Princípios da Gestão da Produção

A teoria de produção TFV apresenta os três principais conceitos de produção não como alternativos, mas sim como complementares (KOSKELA, 2000). O autor salienta a importância de integrar estes conceitos por meio do modelo de produção proposto e de ferramentas relacionadas a fim de criar uma conceitualização de produção unificada e não três conceitualizações independentes.

Desta forma, Koskela (2000) apresenta doze princípios associados a cada um dos três conceitos da teoria TFV de produção:

- Visão da produção como transformação, objetivando a execução eficiente dos processos:
 - a) Decompor o processo de produção em subprocessos;

- b) Diminuir os custos de todos subprocessos, reduzindo tarefas que não agregam valor ao eliminar desperdícios (perdas);
- Visão da produção como um fluxo composto de atividades que agregam e não agregam valor:
 - a) Reduzir o *lead time*: reduzindo o número de tarefas que não agregam valor;
 - b) Simplificar a produção, reduzindo número de partes ou passos através de um planejamento eficaz da produção;
 - c) Aumentar flexibilidade de saída, agregando mais valor ao produto sem perdas de produtividade;
 - d) Aumentar transparência do processo como um todo, instruir a não repetição de erros através de dispositivos visuais, indicadores de desempenho e etc.;
- Visão da produção a partir da geração de valor, através do cumprimento dos requisitos de clientes:
 - a) Garantir o entendimento de todos requisitos;
 - b) Garantir o andamento dos requisitos dos clientes, assegurando o não esquecimento requisito quando o mesmo é transformado em plano de produção;
 - c) Considerar requisitos não só no produto final mas durante todo o atendimento ao cliente;
 - d) Garantir capacidade do sistema de produção;
 - e) Garantir que foi gerado valor ao cliente através de medidas de satisfação do cliente.

3.1.2 *Just-in-time* (JIT)

Um dos pilares da filosofia da produção enxuta é o *Just-in-Time* (JIT), que significa mover-se na direção de eliminar todos os desperdícios para desenvolver uma operação mais rápida, confiável, de mais qualidade e a baixo custo (SLACK et al., 2009). O *Just-in-Time* é um sistema de produção que produz e entrega o que é necessário, quando é necessário e somente na quantidade necessária (LEI, 2008). Sendo um pilar da produção enxuta, sua fundação é o *heijunka* (nivelamento da produção), e depende da operação de três elementos: o sistema de produção puxada, *takt time* e o fluxo contínuo (LEI, 2008).

Diferente da abordagem tradicional de produção na qual encontra-se estoques em processamento – *buffers*, na abordagem do JIT os *buffers* são eliminados entre os processos e as entregas de produtos são realizadas somente conforme pedidos do processo subsequente (SLACK et al., 2009).

3.1.3 Perdas de Produção

De acordo com Bernardes (2003), perdas, ou desperdícios, são trabalhos considerados desnecessários na produção de um produto ou de serviço, sendo um dos focos principais da produção enxuta identificá-los e eliminá-los. A Toyota definiu os setes tipos de desperdícios, considerando que estes poderiam ser aplicados tanto à manufatura quanto aos serviços, são eles: superprodução, tempo de espera, transporte, processo, estoque, movimentação e produtos defeituosos (OHNO, 1988)

De maneira similar, Isatto et al. (2000, p. 27) assim definem o conceito de perda na construção enxuta:

“ O conceito de perdas está fortemente associado à noção de agregar valor e não está limitado apenas ao consumo excessivo de materiais. Assim, as perdas estão relacionadas ao consumo de recursos de qualquer natureza, tais como materiais, mão de obra, equipamentos e capital, acima da quantidade mínima necessária para atender os requisitos dos clientes internos e externos”.

Entretanto, a definição de perdas na construção civil é alvo de diversos debates, tanto referentes ao seu conceito quanto à forma de serem mensuradas, o que resulta em divergências quanto à eficácia dos indicadores de perdas em diferentes estudos (ISATTO et al, 2000). Ohno (1988) classifica a movimentação dos operários na produção em trabalhos e perdas. O trabalho contempla as atividades que agregam valor e atividades que não agregam valor, porém são essenciais para o bom funcionamento da produção. A categoria de perdas corresponde às atividades que não agregam valor e que poderiam ser eliminadas do processo produtivo, cujos custos de ocorrência são inferiores aos custos de prevenção.

3.1.4 Produção Puxada e Empurrada

A produção empurrada, de acordo com LEI (2008), é a produção de grandes lotes de produtos, em velocidade máxima, baseada na previsão de demanda. Após fabricação, os produtos são

movimentados para o próximo processo ou para estoque, sem considerar o o ritmo de trabalho do próximo processo.

Por sua vez, de acordo com o LEI (2008), a produção puxada é um método de produção cujas atividades à jusante sinalizam a necessidade de início das atividades à montante, ou seja, nada é produzido sem que o processo posterior informe a demanda e é o oposto de produção empurrada. O LEI (2008) define e descreve três tipos básicos de produção puxada:

- a) supermercado: no qual cada processo do sistema produtivo apresenta uma loja (supermercado) que apresenta uma certa quantidade de produtos fabricados. O processo simplesmente funciona para repor os produtos conforme vão saindo do estoque, ou seja, a utilização de um mecanismo de informação (como *kanban*) informa ao processo de fabricação a necessidade de fornecer o produto que foi retirado da “loja”. A desvantagem deste tipo de produção é a necessidade de se ter um estoque mínimo de cada tipo de produto, assim gerando grandes estoques quando se tem uma grande variedade de produtos;
- b) sequencial: é utilizado quando há grande número de produtos fabricados e dificulta o estoque de cada tipo em um “supermercado”. Desta forma, a produção é realizada de acordo com o pedido do cliente, criando condições de se manter pequenos e previsíveis *lead times*. Neste tipo de produção, a previsão de demanda deve ser bem realizada ou o *lead time* de produtos deve ser muito pequeno;
- c) sistema misto de supermercado e sequencial: este sistema faz a diferenciação entre os produtos mais e menos solicitados, viabilizando a produção do tipo supermercado para produtos mais solicitados, garantindo curto tempo de entrega, enquanto para produtos menos solicitados, a produção é realizada por demanda.

Hopp e Spearman (2004) utilizam a quantidade de trabalho em progresso¹ (WIP) no sistema para diferenciar a produção puxada e a empurrada. De acordo com os referidos autores, a produção puxada limita explicitamente a quantidade de WIP no sistema, enquanto a produção empurrada não define este tipo de limitação.

Apesar de as origens da produção puxada estarem relacionadas a utilização de *kanban*, Hopp e Spearman (2004) destacam que o *kanban* é apenas uma ferramenta para alcançar os objetivos de puxar a produção. A ferramenta *kanban* é um sistema de sinalização através de cartões, que fornece autorização e instrução para a produção, orientando a fabricação e a movimentação de

¹ Trabalho em progresso (WIP) pode ser entendido itens entre etapas de processamento (LEI, 2008).

produtos (LEI, 2008). Os benefícios da utilização de mecanismos que puxam a produção são (HOPP, SPEARMAN; 2004):

- a) redução de trabalho em progresso e tempo de ciclo: através das limitações impostas no sistema e na regulação de WIP através de *kanban*, resultando em níveis de WIP mais baixos e consequentemente tempos de ciclo menores;
- b) estabilização do fluxo de produção: ao diminuir flutuações dos níveis de WIP, a utilização de *kanban* resulta em um sistema mais previsível;
- c) melhoria na qualidade: um sistema produtivo com filas pequenas resulta na redução de tempo entre criação e detecção de defeitos, assim como não tolera grandes níveis de perdas e retrabalhos;
- d) redução de custo: a utilização de mecanismos que limitam o WIP faz com que qualquer redução dos níveis de WIP resulte em problemas que podem levar ao bloqueio ou parada da linha, assim, deve-se treinar as pessoas para a rápida resolução de problemas para retomar a produção.

Hopp e Spearman (2004) destacam que não existe uma produção puramente puxada ou empurrada. Ou seja, apesar de utilização de *kanban* para limitar os níveis de WIP em sistemas de produção puxada, há circunstâncias em que o limite é ultrapassado e, para produção empurrada não se tem um limite claro de WIP, porém na prática este limite está implícito no sistema (HOPP, SPEARMAN; 2004).

3.1.5 Fluxo Contínuo

Fluxo contínuo é a produção e movimentação de um item de cada vez (ou um lote pequeno e consistente de itens) de um processo para o seguinte sem interrupção, produzindo em cada processo somente o que é necessário para o próximo (LEI, 2008).

Atingir o fluxo contínuo em grande medida garante uma maneira eficiente de transformar materiais em produtos, cujas características são, conforme Rother e Harris (2002):

- a) uso mínimo de recursos: quantidade mínima de pessoas, máquinas, materiais e equipamentos;
- b) *lead time* curto: permite o rápido retorno em dinheiro à empresa;
- c) defeitos em produtos rapidamente tornam-se aparentes e permitem a correção;
- d) encorajamento da comunicação entre operações.

O fluxo contínuo permite que itens não sejam produzidos antes da real necessidade deles, ou seja, minimizando desperdícios como movimentação extra, contagem, armazenagem, entre outros (ROTHER, HARRIS, 2002), ou seja, eliminando estoques em processamento.

O LEI (2008) define que estoques são materiais presentes no fluxo de valor entre etapas no processo de produção e podem ser categorizados por sua posição no fluxo de valor e pelo seu propósito:

- a) posição no fluxo de valor: estoques de matérias primas (ainda não processados), estoque em progresso (WIP – itens entre etapas de processamento) e estoque de itens finalizados (já processados e aguardando transporte).
- b) propósito: estoques de produtos acabados (proteção à capacidade de produção no caso de variação de demanda), estoques de segurança (estoques em processo para proteger à produção, em processos posteriores) e estoques para expedição (no final da linha de produção, finalizando o lote para expedição).

De acordo com os referidos autores, a definição do ritmo de produção é uma das considerações mais críticas na implementação do fluxo contínuo e, para tanto, é necessário ter em mãos o *takt time* e o tempo de ciclo do sistema. O *takt time* é o tempo disponível de produção dividido pela demanda do cliente e objetiva a combinação precisa entre produção e demanda (LEI, 2008). Por sua vez, Rother e Harris (2002) definem que “o tempo de ciclo é a frequência com que uma unidade acabada sai do final da célula no processo puxador”.

3.2 PROCESSO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE NA CONSTRUÇÃO

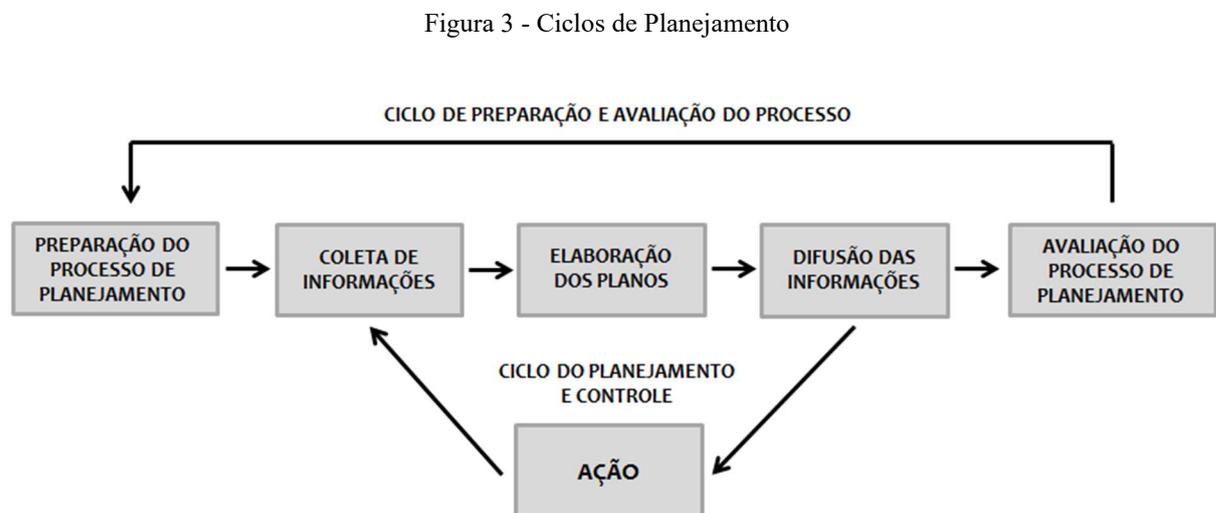
De acordo com Formoso (2001, p.5), planejamento pode ser definido como “um processo gerencial que envolve o estabelecimento de objetivos e a determinação dos procedimentos necessários para atingi-los, sendo eficaz somente quando realizado em conjunto com controle”. Aliados a esta definição, Laufer e Tucker (1987) definem questionamentos pertinentes à etapa de planejamento e o subdividindo em duas dimensões, contemplando definições quanto às atividades que devem ser feitas, métodos e recursos que devem ser empregados e o sequenciamento e o tempo para a realização de cada uma. Estes questionamentos forneceram base para a definição das dimensões do planejamento, descritas a seguir.

3.2.1 Dimensões do Planejamento e Controle

O processo de planejamento e controle da produção é um processo gerencial em duas dimensões: horizontal e vertical (LAUFER; TUCKER, 1987). O modelo proposto pelos autores supracitados na dimensão horizontal pode ser dividido em cinco etapas principais:

- a) Preparação do processo de planejamento;
- b) Coleta de informações;
- c) Elaboração dos planos;
- d) Difusão das informações;
- e) Avaliação do processo de planejamento.

A figura 3 representa esquematicamente o relacionamento destas etapas e a implementação dos planos elaborados (ação). Neste esquema podem ser observados dois ciclos: o ciclo de preparação e avaliação do processo, de caráter intermitente e caracterizado por definições deste processo e de suas avaliações parciais e totais; e o ciclo de planejamento e controle, de caráter contínuo e caracterizado pela repetição contínua em diferentes níveis hierárquicos, baseado nas informações do ciclo anterior (FORMOSO, 2001).



(fonte: adaptado de Laufer e Tucker, 1987)

A incerteza do processo construtivo, a complexidade típica de empreendimentos e a variabilidade dos processos são razões pela qual é necessário hierarquizar verticalmente o processo de planejamento. Assim, a hierarquização do planejamento pode proteger a produção

dos efeitos da incerteza, visto que o nível de detalhamento pode desta forma variar adequadamente com o horizonte de planejamento (FORMOSO, 2001). Isatto et al. (2000) salienta que o planejamento muitas vezes é erroneamente realizado com demasiado detalhamento, acreditando-se que desta forma pode-se proteger a produção dos efeitos nocivos da incerteza.

Formoso (2001) sugere dimensão vertical dividida em três grandes níveis hierárquicos:

- a) estratégico: definição dos objetivos gerais do empreendimento com vistas aos requisitos do cliente;
- b) tático: seleção dos recursos para alcançar os objetivos propostos no nível estratégico do empreendimento e posteriormente a elaboração de planos de ação para o uso destes recursos;
- c) operacional: elevado nível de detalhamento para a definição das atividades a serem realizadas, contemplando os recursos para tal e momento de execução.

3.2.2 O Sistema *Last Planner*

O sistema *Last Planner* (SLP) foi concebido por Ballard e Howell (1994) e se trata de uma maneira de planejar a produção a partir do aumento de confiabilidade do sistema de produção em termos de conclusão de tarefas, buscando atingir metas de prazos. Este sistema pode ser entendido como um mecanismo de transformar o que deveria ser feito em o que pode ser feito, identificando e removendo restrições. Através da participação direta dos executores na montagem dos planos de trabalho, pode-se formar um estoque de pacotes de trabalhos de atividades prontas para serem executadas (BALLARD, 2000)

Os procedimentos de implantação do SLP apresentam dois componentes: (a) controle da unidade de produção, que visa a melhoria dos planos de trabalho, através da melhoria contínua e de ações corretivas; e (b) controle do fluxo de informação, garantindo fluxo de trabalho através das unidades de produção na melhor sequência e ritmo possível (BALLARD, 2000).

O foco do sistema *Last Planner* incide em dois níveis hierárquicos: o planejamento de curto prazo, no nível operacional, e o planejamento de médio prazo, no nível tático.

3.2.2.1 Planejamento de Curto Prazo

O planejamento de curto prazo é considerado o primeiro nível de implementação do SLP, pois é neste momento que são realizadas mudanças de como organizações controlam sua produção. Este nível é geralmente semanal e o planejamento neste nível têm ênfase no engajamento das equipes de trabalho e é denominado plano de comprometimento ou operacional (BALLARD, HOWELL, 1998).

De acordo com os autores, planos de comprometimento são efetivos quando adequadamente atendem cinco requisitos:

- Definição: os pacotes de trabalho devem ser bem definidos para identificação dos recursos para a realização e ainda poder identificar sua conclusão;
- Estar pronto para execução: pré-requisitos de cada pacote de trabalho disponíveis;
- Sequência de execução: verificação da sequência de atividades conforme requisitos do cliente;
- Tamanho: verificação do plano de trabalho com a capacidade da equipe de produção;
- Aprendizado: identificação dos pacotes de trabalho não concluídos e suas respectivas causas.

A partir do planejamento de curto prazo pode-se obter dois indicadores importantes para garantir o ciclo de aprendizado e da melhoria do planejamento (BALLARD; HOWELL, 1998): (a) percentual de pacotes concluídos (PPC), que indica a eficácia do método de planejamento e é a razão das atividades executadas pelas atividades programadas; (b) frequência das causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho, através da identificação dos motivos e o foco em eliminá-los.

Neste nível deve-se adequadamente definir priorização de tarefas a serem executadas, a fim de que num evento de excesso de tarefas, as menos prioritárias possam ser colocadas em um estoque de tarefas e não comprometam a tarefa principal. Isto caracteriza uma produção protegida (*shielding production*), obtendo-se estabilidade do fluxo de trabalho (FORMOSO, 2001).

3.2.2.2 Planejamento de Médio Prazo

O nível de planejamento a médio prazo faz a vinculação ente o plano mestre (longo prazo) e os planos operacionais (curto prazo). Neste nível, o planejamento possui um horizonte de tempo móvel, denominado *lookahead* (FORMOSO, 2001). Ballard (2000) define as funções do planejamento neste nível como: análise de restrições, dimensionamento de carga e capacidade de trabalho, definição dos recursos físicos, decomposição do planejamento de longo prazo em pacotes de trabalho e o desenvolvimento do método de execução do trabalho. Formoso (2001) salienta a frequência no qual restrições relacionadas a espaço físico (como revisão do *layout* do canteiro) são negligenciadas na gestão da produção.

Neste nível de planejamento inicia-se o mecanismo de proteção da produção, que é uma estratégia de gerenciamento da incerteza. Este mecanismo consiste na identificação e remoção de restrições, formando um estoque de pacotes de trabalho prontos para serem executados no curto prazo, garantindo fluxo ininterrupto de trabalho (BALLARD, HOWELL, 1998). A identificação dos problemas antecipadamente possibilita a resolução no médio prazo e não no curto prazo, a fim de não impactar a produção. A relação entre as restrições removidas e as restrições identificadas é o índice de remoção de restrições (IRR) e identifica a eficácia deste processo (BALLARD, 2000).

4 GESTÃO LOGÍSTICA DE PRÉ-FABRICADOS

Este capítulo apresenta conceitos básicos da gestão logística e sua aplicação a indústria da construção. Por fim, consta a aplicação destes conceitos à gestão logística de elementos pré-fabricados.

4.1 CONCEITOS BÁSICOS DA GESTÃO LOGÍSTICA

4.1.1 Logística

Há relativamente pouco tempo foi reconhecido o papel da logística na gestão empresarial (RUSHTON et al., 2010). Isto advém de sua própria natureza: uma função composta por diversas sub-frações e subsistemas que têm sido tratados através de distintas operações gerenciais. Em meados da década de 1950 o conceito não era desenvolvido e assim as fábricas produziam, os vendedores vendiam e este produto chegava de alguma maneira ao consumidor final. Este cenário tem mudado tanto na academia quanto nos negócios e assim o conceito holístico de logística se estabeleceu, este abrange o inter-relacionamento e a interação entre estas operações (RUSHTON et al., 2010).

A evolução da logística tornou o conceito mais atual, conforme Rushton et al. (2010), como sendo uma função diversa e dinâmica que deve ser flexível e mudar de acordo com as várias restrições e demandas impostas e, também, respeitar o ambiente na qual está inserida. De uma forma geral, de acordo com os referidos autores, a logística e a cadeia de suprimentos consideram o fluxo físico e de informações e o estoque desde a matéria-prima até a distribuição final do produto finalizado.

O'Laughlin e Copacino (1994) definem a estratégia logística através da integração e coordenação de quatro níveis diferentes – Estratégico, Estrutural, Funcional e Implementação - que compõe dez componentes-chave, conforme figura 4.

Figura 4 - Pirâmide da Estratégia Logística



(fonte: O’Laughlin e Copacino, 1994)

No primeiro nível, na base da pirâmide, encontram-se os conceitos relativos à implementação, que são a base da estratégia logística. Neste patamar estão o sistema de informações de apoio a logística, as políticas e procedimentos que vão guiar as operações logísticas, as instalações e os equipamentos e a gestão da organização destas atividades. No segundo nível, encontram-se os componentes funcionais, que envolvem a gestão dos suprimentos, a gestão dos meios de transporte e o projeto das áreas de armazenagem e de operações. Por sua vez, os componentes estruturais de uma estratégia logística aparecem no terceiro nível e são a definição do projeto da cadeia logística e da infraestrutura de suporte a esta cadeia. O topo da pirâmide (quarto nível) apresenta a capacidade de atendimento aos requisitos dos clientes internos e externos. Deste nível tem-se o entendimento da demanda e, portanto, pode-se definir metas e objetivos, sendo o componente estratégico (O’LAUGLIN; COPACINO, 1994).

4.1.2 Layout

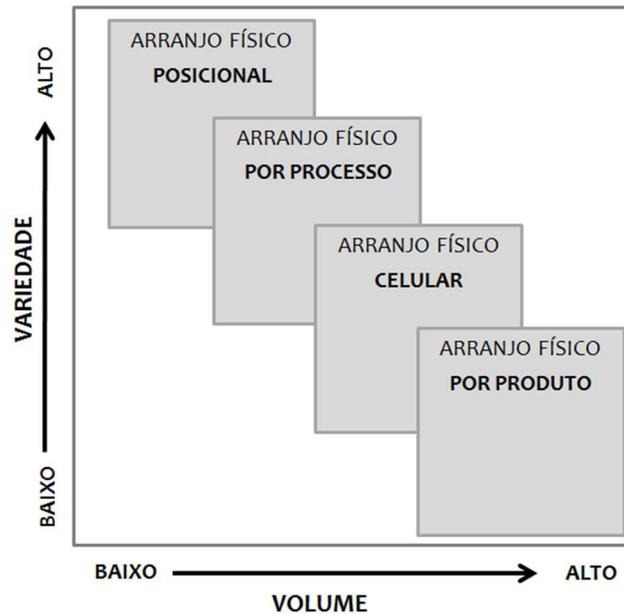
O planejamento de instalações teve grandes mudanças nas últimas décadas. Uma das principais é o fato de que o planejamento de instalações deve ser realizado no contexto da cadeia de suprimentos, afim de sustentar a vantagem competitiva empresarial (TOMPKINS et al., 2010).

De acordo com os mesmos autores, o processo de planejamento de instalações é melhor entendido quando visualizado como um ciclo de vida da instalação, visto apesar de planejada uma vez, a instalação é frequentemente replanejada para sincronizar com a constante mudança de objetivos dados a ela. Neste processo, a geração e a avaliação de uma série de alternativas de *layout* é uma etapa de distinta importância, visto que o *layout* selecionado servirá para estabelecer os padrões de fluxo de materiais, bem como relações físicas entre as atividades TOMPKINS et al., 2010).

Toledo Junior (2004) descreve o *layout* industrial como “a maneira como os homens, máquinas e equipamentos estão dispostos numa fábrica”, cujo objetivo é a redução no custo causada pela maior eficiência e produtividade. Os métodos de atendimento do objetivo supracitado, de acordo com o mesmo autor, consistem em melhorar a utilização do espaço disponível, reduzir a movimentação de materiais, produtos e pessoas, elaborar um fluxo mais racional, diminuir o tempo de produção (*lead time*) e melhorar as condições de trabalho.

Existem diversas formas de se classificar os layouts, como consequência da variedade de modos de produção. Slack et al. (2009) identifica as tipologias mais usuais como: (a) posicional, (b) funcional, (c) celular e (d) por produto.

A importância do fluxo, e por consequência o tipo de arranjo físico, depende de suas características de volume e variedade. A figura 5, a seguir, apresenta ilustra a influência do volume e da variedade na escolha do melhor arranjo físico para a produção.

Figura 5 Volume-variedade e o tipo de *layout*

(fonte: adaptado de Slack et al., 2009)

Os objetivos específicos do layout dependem dos objetivos estratégicos de uma operação, porém há alguns objetivos gerais que são importantes a todas as operações (SLACK ET AL., 2009):

- a) segurança inerente;
- b) canalizar o fluxo de materiais, informações ou clientes;
- c) clareza de fluxo, com adequada sinalização;
- d) conforto para os funcionários;
- e) coordenação gerencial, através da supervisão e comunicação;
- f) acessibilidade;
- g) uso adequado do espaço disponível;
- h) flexibilidade de rearranjo a longo prazo.

4.2 GESTÃO LOGÍSTICA NA CONSTRUÇÃO

Na indústria da construção, a logística envolve uma ampla gama de decisões, que visam a garantir o fornecimento, estoque, processamento e disponibilidade de recursos materiais no canteiro de obras, para dimensionar equipes de produção e gerenciar os fluxos físicos de produção (SERRA, OLIVEIRA; 2003). Aliado a este conceito e no ambiente da construção

civil, de acordo com os referidos autores, o sucesso de um plano logístico depende de elementos condicionantes, que podem ser divididos em externos e internos

Cardoso (1996) apresenta uma subdivisão para a logística aplicada às empresas de construção civil classificando-as de acordo com sua função: (a) logística de suprimentos (logística externa) e (b) logística de canteiro (logística interna). De acordo com Serra e Oliveira (2003), a subdivisão da logística em interna e externa possibilita a clara identificação das principais atividades relacionadas à logística na construção e, assim, permite um planejamento detalhado destas atividades.

De acordo com os referidos autores, a logística de suprimentos é relacionada ao transporte e ao suprimento dos recursos a serem deslocados – materiais, mão de obra, equipamentos e etc.-necessários à produção da obra. Por sua vez, a logística de canteiros está relacionada ao planejamento e gestão dos fluxos físicos e dos fluxos de informações associados. Suas principais tarefas são a gestão dos fluxos físicos e de informações, a gestão da interface entre os agentes que interagem no processo de produção, e a gestão física do canteiro de obras (incluindo definição e implantação de sistemas de transportes, estoque, pré-fabricação e equipamentos de segurança coletiva).

Por sua vez, Agapiou et al. (1998) desenvolveram um modelo logístico que visa o melhoramento do projeto e do processo construtivo, cujos critérios para consideração foram: planejamento das atividades do canteiro, recebimentos de materiais, número de mudanças no detalhamento do projeto, retrabalho e condições de trabalho no canteiro. O modelo dos autores supracitados conta com a adoção de algumas medidas práticas para facilitar as melhorias do processo, como limitar a movimentação de materiais aos limites do canteiro, evitar estoque, desperdícios e retorno de itens e diminuir danos à materiais durante a construção. Os processos logísticos de gestão propostos para o planejamento logístico por Agapiou et al. (1998) constam no quadro 1.

Quadro 1 - Componentes da Gestão Logística

FERRAMENTAS	DESCRIÇÃO
Coordenação de materiais	Atribuição de um responsável por gerenciar a logística durante o processo construtivo
Plano de suprimentos	Plano especificado pelo coordenador de materiais em cooperação com cada fornecedor e indica datas previstas de entrega de materiais para a obra
Programação de pedidos	Detalhamento do plano de suprimentos para um período de três semanas
Plano de descarregamento	Planos que indicam onde os materiais fornecidos devem ser descarregados no canteiro
Especificação de unidades	Uma unidade é um lote de materiais necessários para um trabalho específico de uma equipe em um local do canteiro de obras. Deve ser especificado pelo subcontratado ou fornecedor e estar de acordo com o coordenador de materiais

(fonte: Agapiou et al., 1998)

Os principais objetivos de um sistema logístico são maximizar o nível de serviço ao cliente e minimizar o custo total das atividades, ou seja, aumentar o valor ao cliente e diminuir o custo total do processo produtivo (CARDOSO; SILVA, 1998). O valor ao cliente pode ser mensurado através das relações externas entre empresa e cliente final e entre empresa e fornecedores, como também na relação interna entre empresa e seus clientes internos. Por sua vez, existe um conflito ao mensurar o custo total do processo produtivo, visto que ao analisar medidas para reduzir o custo de uma atividade logística pode-se estar aumentando o custo de outra atividade. Desta forma, de acordo com os referidos autores, a análise de custo total deve ser realizada associadamente ao nível de serviço e, assim, a solução adotada para o sistema logístico empregado deve definida ser através da comparação de diferentes cenários (CARDOSO; SILVA, 1998).

4.3 GESTÃO LOGÍSTICA DE PRÉ-FABRICADOS

A utilização de elementos pré-fabricados na construção é resultado do desenvolvimento da industrialização do setor (ČUŠ-BABIČ et al., 2014). No entanto, de acordo com Matt et al.

(2014), processo de manufatura de peças é, tradicionalmente, desconectado do processo de montagem em canteiro de obras, trazendo como efeito grandes lotes de produção. O estabelecimento de um eficaz planejamento e controle logístico de obras é uma oportunidade de elevar a produtividade do processo de construção (AGAPIOU ET AL., 1998).

Desta forma, a indústria da construção necessita de um sistema logístico bem definido, integrado e eficaz, que auxiliem os responsáveis pelo planejamento logístico do projeto a aumentar a produtividade e sustentabilidade dos processos construtivos (SIKKA et al., 2006). No entanto, Tommelein (1998) indica que é comum a otimização dos processos de maneira individualizada, acreditando que estas decisões estão influenciando o projeto como um todo.

Rauch et al. (2015) explica a necessidade de a sincronizar as atividades desenvolvidas visando a eliminação de desperdícios ao apresentar as diversas incertezas que podem ser definidas nas atividades. Para as atividades de montagem em obra, de acordo com os referidos autores, podem ocorrer problemas de curto prazo ou condições climáticas desfavoráveis aos exercícios das atividades, enquanto na fabricação, problemas de natureza técnica ou logística que exijam um planejamento complexo podem ser encontrados.

É comum o planejamento de produção da fábrica visando a maximização da utilização dos recursos, gerando grandes lotes de produção que determinam a sequência de montagem em obra (RAUCH ET AL, 2015). Consequentemente, esta falta de sincronia pode gerar excesso de custos para a empresa: gerando atrasos a execução do empreendimento caso falte peças para montagem ou com estoques onerosos, no caso de excesso de produção por antecipação (ČUŠ-BABIČ et al., 2014). Neste cenário, é importante a redução da incerteza através de sincronização do planejamento das etapas de projeto, fabricação e montagem, visando a minimização de estoques e entre *just-in-time* de materiais e informações (RAUCH ET. AL, 2015).

No contexto de projetos rápidos e completos, a técnica de puxar a produção tem apresentado melhorias na eficácia do planejamento e controle da produção (TOMMELIEN, 1998). De acordo com a autora, esta técnica sugere o *feedback* em tempo real, da construção à fabricação, fornecendo recursos para ajustar o cronograma a partir das incertezas manifestadas no canteiro de obras. Isto permite que as atividades sejam executadas de forma eficaz e os estiques de trabalho em progresso (WIP) sejam mantidos à pequenos níveis (TOMMELIEN, 1998).

Hopp e Spearman (2001)² apud Santos (2016) definem cinco motivos para a geração de estoques: (a) responsabilidade do cliente, no qual o lead-time para expedição é menor que o de produção; (b) tamanho do lote de produção; (c) erros de previsão; (d) variabilidade de produção e (e) sazonalidade.

Viana (2015) sugere a integração do planejamento e controle da produção, com bases no *Last Planner*, visando transparência no compartilhamento de informações e análise de restrições, entre as fases de projeto, fabricação e montagem de pré-fabricados, em ambientes *Engineer-to-Order*.

De acordo com Bortolini (2015), a realização do planejamento logístico do empreendimento e do planejamento logístico de processos críticos devem fazer parte do planejamento logístico da obra. A mesma autora propõe a realização de planejamento em distintos níveis, contemplando os processos envolvidos para a realização das atividades e o planejamento dos processos críticos que podem retardar a produção.

Bulhões (2009) afirma que a implementação do fluxo contínuo em obras do sistema construtivo pré-fabricado demanda um planejamento integrado entre os processos de projeto, fabricação e montagem. Neste quesito, de acordo com a autora, é importante a definição de lotes pequenos e repetitivos – como um vão de estrutura – buscando equilíbrio entre demanda da capacidade da fábrica, do sistema de transporte e dos equipamentos de montagem da obra e visando a eliminação de atividades que não agregam valor.

Por fim, a referida autora apresenta diretrizes para a implementação do fluxo contínuo em obras de pré-fabricados divididas em cinco etapas: diagnóstico inicial, planejamento integrado do projeto fabricação e montagem, redução do lote, mudança no processo de planejamento e controle da montagem e, por fim, implementação do fluxo contínuo no processo de projeto.

Santos (2016) propõe a melhoria do fluxo de produtos através das unidades de produção com a definição de um lote mínimo de montagem, contemplando o lote de fabricação, transporte e montagem, que atua como um mecanismo de controle do WIP, afim de melhorar o alinhamento da interface fábrica-obra.

² HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. *Factory Physics Principles*. New York: [s.n.]. 2001

5 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa que utilizado na condução deste trabalho. Primeiramente a estratégia de pesquisa é apresentada. Logo, consta o delineamento do trabalho, com as etapas da pesquisa e o fluxograma de atividades desenvolvidas. Por fim, há a descrição das fontes de evidência utilizadas no desenvolvimento da pesquisa.

5.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada neste trabalho é o estudo de caso descritivo. Este tipo de método é adequado quando (YIN, 2015): (a) as principais questões da pesquisa são “como” ou “por quê”?, (b) o pesquisador tem pouco controle sobre os acontecimentos e (c) o foco do estudo é um evento contemporâneo.

A coleta de evidências apresenta alguns princípios importantes cuja incorporação à pesquisa aumentará substancialmente sua qualidade (YIN, 2015):

- a) uso de várias fontes de evidência que convergem ao mesmo conjunto de fatos;
- b) uso de um banco de dados (reunião formal de evidências distintas a partir do relatório final do estudo);
- c) uso de ligações explícitas entre as questões feitas, dados coletados e conclusões, ou seja um encadeamento de evidências,

Ainda de acordo com o Yin (2015), existem seis fontes principais de evidências no estudo de caso: documentos, registros em arquivo, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos.

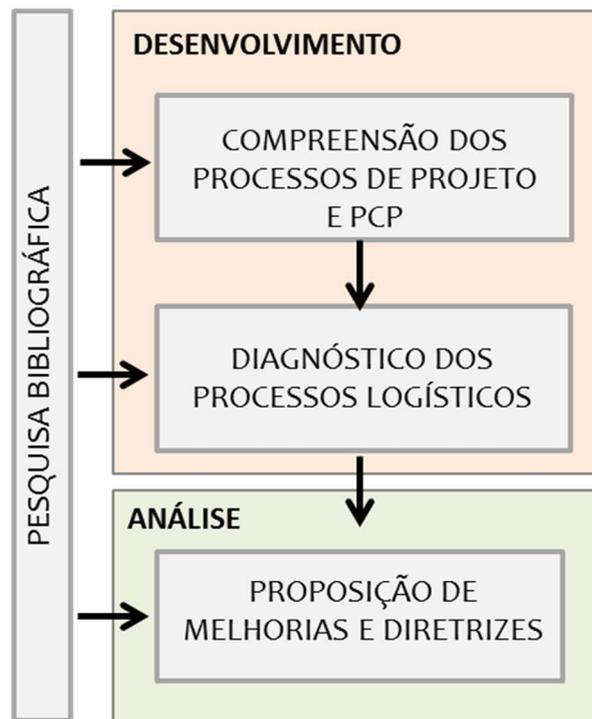
A realização deste trabalho contou com várias fontes de evidências complementares umas às outras e com a adoção dos princípios descritos acima, afim de garantir confiabilidade à pesquisa. As principais atividades de coleta de dados deste trabalho foram: entrevistas observações direta e participante, relatório fotográfico e análise documental.

5.2 DELINEAMENTO

O trabalho foi dividido em etapas que estão representadas na figura 6 e descritas nos próximos parágrafos, sendo elas:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) compreensão do processo de projeto e planejamento e controle da produção da empresa estudada, através da coleta de dados;
- c) diagnóstico dos processos logísticos existentes;
- d) proposição de melhorias para a obra estudada e diretrizes para a integração do planejamento logístico entre fábrica e obra

Figura 6 – Delineamento da pesquisa



(fonte: elaborado pela autora)

A pesquisa bibliográfica foi realizada ao longo de todo o trabalho, com consultas em livros, artigos e trabalhos acadêmicos, acerca de planejamento e controle da construção, conceitos gerais de gestão da produção, *layout*, logística e a aplicação dos princípios da produção enxuta à indústria da construção. Foi realizada também uma pesquisa referente a gestão logística aplicada a utilização de pré-fabricados na construção civil.

A etapa seguinte constituiu na identificação dos processos logísticos da obra do estudo de caso desta pesquisa, através da utilização de cinco fontes de evidência. Por fim, buscou-se compreender como era realizada a integração entre a fábrica e a obra. Foi realizado o diagnóstico do planejamento e controle logístico da obra estudada, utilizando como referencial teórico conceitos e princípios de produção enxuta.

As diretrizes para a integração do planejamento logístico entre fábrica e obra foram propostas a partir das etapas anteriores e da proposição de melhorias para a obra estudada, buscando-se oferecer contribuições para a gestão logística de outras obras de natureza similar.

5.3 FONTES DE EVIDÊNCIA

Os dados utilizados foram provenientes de fontes primárias e secundárias. Os dados primários são aqueles coletados pela primeira vez para o estudo de caso em questão, já os dados secundários são aqueles que já foram coletados, analisados e estão disponíveis para consultas (YIN, 2015). Os dados primários nesta pesquisa foram coletados através de observação direta, observação participante, entrevistas, fotografias e documentação. Os dados secundários foram coletados através da documentação do período de novembro de 2015 a março de 2016. O quadro 2 apresenta as fontes de evidências e suas ações e/ou objetivos.

Quadro 2 – Fontes de evidencia utilizadas na pesquisa

Evidências	Ações / Objetivos
Entrevista	Entender as características inerentes aos processos construtivos da obra, entender o fluxo dos processos entre departamentos e possíveis dificuldades na obra
Observação Direta	Visitas à fábrica de forma ocasional para identificação da topografia dos entornos, equipamentos disponíveis, fluxos físicos e suas implicações no planejamento da obra
Observação Participante	Participação das atividades de montagem de pré-fabricados em obra, identificando dificuldades na execução das atividades e possibilidades de melhorias de projeto
Fotografias	Análise de fotografias aéreas pertencentes à empresa estudada que permitem a identificação das instalações do canteiro de obras, bem como identificação de fluxos físicos e estoques nas frentes de serviço
Documentação	Análise de documentação referente ao período de novembro de 2015 à março de 2016: controles de fabricação, movimentação e de montagem de pré-fabricados e rastreabilidade de peças. Análise do contrato firmado entre empresa e cliente, do edital de abertura da licitação, do anteprojeto de engenharia utilizado para o fechamento do contrato, projetos básicos e executivos do empreendimento.

(fonte: elaborado pela autora)

5.3.1 Observação direta

A observação direta foi realizada por meio de visitas ao campo podendo ser caracterizada de maneira sistemática ou ocasional (YIN, 2015). De maneira sistemática, são realizadas rotinas de observações, enquanto a observação direta ocasional pode ser realizada através de diversas visitas de campo, inclusive enquanto se está coletando outras evidências.

Para a realização deste trabalho, a observação direta foi a fonte de evidência utilizada para a compreensão dos processos e identificação de características relativas à fábrica. Estas observações foram realizadas através quatro visitas ao local realizadas em janeiro de 2017, com duração média de uma hora.

5.3.2 Observação participante

A observação participante é a modalidade de observação na qual o pesquisador não é apenas um observador passivo (YIN, 2015). O referido autor aponta como um ponto positivo deste tipo de coleta de dados a oportunidade de coletar evidências que não seriam possibilitadas em outra fonte de evidência, porém, devido a possibilidade do pesquisador manipular os eventos, pode também esta ser tendenciosa.

Para a realização deste trabalho, a observação participante foi uma das fontes de evidência utilizadas, devido a pesquisadora trabalhar na empresa e estar envolvida no processo de montagem de pré-fabricados. Estas observações foram realizadas de forma ocasional durante o período de março a maio de 2017, por meio do acompanhamento das atividades de produção no canteiro da obra, da participação na programação da demanda de movimentação dos pré-fabricados à obra, e do transporte de peças para os estoques.

5.3.3 Documentação de imagens através de fotografias

A documentação de imagens por meio de fotografias documenta as observações e, a assim, auxiliam o observador ao transmitir o que foi observado em campo (YIN, 2015). Desta forma, foram utilizadas fotos aéreas do empreendimento capturadas através de avião no mês de abril de 2016. A documentação por imagens foi realizada para identificar questões de *layout* de canteiro, armazenamento de materiais, caminhos de serviços, entre outros.

5.3.4 Análise de documentos

A observação, aliada a documentação por fotografias, foi o ponto de partida para a coleta de dados neste estudo de caso. Ou seja, entendendo-se as atividades desenvolvidas na obra em questão, as restrições e interferências, bem como as atividades predecessoras, é possível determinar os dados que são necessários para atingir os objetivos propostos e buscar a documentação necessária. Nesta pesquisa foram utilizados os seguintes documentos:

- a) Contrato firmado entre empresa e cliente;
- b) Edital de licitação do empreendimento estudado;
- c) Anteprojeto de engenharia;

- d) Projetos Básicos e Executivos do empreendimento.

Além da análise destes documentos, foram utilizados dados referentes aos controles de fabricação, movimentação e montagem de pré-fabricado, através de documentos de rastreabilidade de peças, do período de novembro de 2015 a março de 2016.

5.3.5 Entrevistas abertas

A fim de complementar a coleta de dados do diagnóstico, buscou-se a obtenção dos pontos de vista das pessoas envolvidas na execução do empreendimento através de entrevistas abertas.

Foram realizadas quatro entrevistas e o perfil dos entrevistados consta a seguir:

- a) Entrevistado 1: engenheiro de produção, 8 anos no ramo de construção de infraestrutura;
- b) Entrevistado 2: engenheiro de produção, 3 anos no ramo de construção de infraestrutura;
- c) Entrevistado 3: mestre de obras, 41 anos no ramo construção de infraestrutura;
- d) Entrevistado 4: auxiliar de engenharia, 3 anos no ramo de construção de infraestrutura.

6 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Este capítulo apresenta a etapa de desenvolvimento da pesquisa. A empresa e a obra são apresentadas, assim como uma visão geral do processo de planejamento e controle de produção, o *layout* do canteiro de obras e da fábrica de pré-fabricados. Logo, são identificados os processos logísticos de três famílias de pré-fabricados na empresa. Por fim, são discutidas as diretrizes propostas na bibliografia de gestão logística de pré-fabricados aplicadas à obra estudada.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E DA OBRA ESTUDADAS

A empresa X atua no ramo de construção e infraestrutura e foi fundada há mais de 50 anos. Com atuação em todos os estados brasileiros e em outros países da América Latina e África, suas obras contemplam vários segmentos: energia renovável, mobilidade urbana, rodovias, ferrovias, recursos hídricos e terminais logísticos.

No momento da realização deste trabalho, a empresa tem o contrato obra de infraestrutura de mobilidade urbana no estado do Rio Grande do Sul, que foi o objeto deste estudo.

O empreendimento é considerado uma obra prioritária na região por ser uma travessia alternativa à ponte atual, cuja altura é limitada e o vão navegável é permitido a todas embarcações somente com o içamento do tabuleiro móvel. A média de dois içamentos diários da ponte atual aliada ao volume de tráfego de 40 mil veículos diários torna a ponte insuficiente para o transporte rodoviário do estado.

A obra da nova ponte apresenta doze quilômetros de extensão, sendo sete quilômetros em terraplenagem e cinco quilômetros em obras de arte especial, conforme figura 7. A obra teve início em março de 2015 e tem previsão de término em 2019. A obra de arte especial em concreto armado e protendido, conta com aproximadamente 75% de sua estrutura pré-fabricada, sendo os outros 25% de concreto moldado *in loco*.

Figura 7 – Extensão da obra



(fonte: foto da empresa estudada)

O anteprojeto foi elaborado pelo cliente, sendo que o percurso inicia na interseção de duas avenidas urbanas e atravessa duas ilhas. O projeto contempla a travessia sobre um parque estadual, uma Unidade de Conservação Ambiental, sendo necessário adotar certas técnicas construtivas para limitar o impacto ambiental.

Para que a fauna e a flora nativas possam manter seu fluxo gênico, no desenvolvimento do projeto foram utilizadas vias elevadas para realizar a travessia sobre as ilhas. A metodologia construtiva utilizada na via elevada é de superestrutura com vigas pré-fabricadas, que consiste na fabricação de vigas U em canteiro industrial e utilização de carretas extensivas para o transporte até o local de aplicação. A colocação da viga entre pilares é realizada por meio de guindastes ou treliças lança-deiras, conforme figura 8.

Figura 8 – Exemplo de uso de treliça lançadeira para montagem de vigas pré-fabricadas



(fonte: Valec, 2013)

Por sua vez, para viabilizar a altura e o vão livre necessários para o canal navegável, o trecho do empreendimento sobre o canal de navegação está sendo executado por meio do método de balanços sucessivos, conforme figura 9, com vigas-caixão (aduelas) pré-fabricadas e protendidas.

Figura 9 – Exemplo de ponte executada em balanços Sucessivos



(fonte: Vasconcelos, 2012)

O empreendimento caracteriza-se por ser um sistema híbrido. A utilização de elementos de concreto moldado *in loco* tem função de solidarização das peças pré-fabricadas, contabilizando aproximadamente 25% do volume total de concreto.

A viabilidade de construção de um empreendimento de grande porte no contexto urbano conta com a identificação e quantificação de interferências no local, pois estas impactam o cronograma da obra.

Algumas interferências estão relacionadas à de rede elétrica, água e gás. Para tanto, foi necessário o remanejamento destas redes por meio da comunicação com as concessionárias ou empresas responsáveis por cada rede. A eliminação destas interferências provocou esperas até que o serviço fosse realizado.

Outra interferência importante é a necessidade de reassentamento de aproximadamente mil famílias, moradoras de três comunidades localizadas no traçado da obra. Para tanto, é prevista a execução de três condomínios habitacionais de interesse social. A construção destes condomínios não faz parte do escopo do empreendimento, cabendo ao poder público definições quanto a isto.

Por fim, a execução do empreendimento junto à rodovia federal demanda frequentemente a interrupção parcial da pista. Em razão de ser uma rodovia concedida, a autorização para execução de serviços nas proximidades é cedida somente com solicitação antecipada de permissão, com o fornecimento dos projetos de proteção coletiva e sinalização, para que o serviço ocorra de forma segura. Esta tramitação pode ser lenta e, assim, gerar atrasos à obra.

6.2 DESCRIÇÃO DO CONTRATO

O empreendimento apresenta caráter de obra pública, ou seja, é financiada por fundos públicos e tem como objetivo prestar um serviço à comunidade. Conforme a legislação, foi realizada uma licitação que resultou na contratação da empresa encarregada do empreendimento. Em 2011 foi criado através de lei federal um novo sistema de contratações públicas, voltado a realização dos eventos esportivos dos anos seguintes. Este novo sistema foi denominado por lei o regime diferenciado de contratações – RDC (JURKSAITIS, 2011).

Para serviços e obras de engenharia, este regime permite a contratação de uma empresa que execute e elabore todos documentos necessários para a entrega final do objeto, ou seja a elaboração de projetos básico e executivo e a execução da obra. O RDC proíbe a execução de obras sem projeto executivo e também apresenta caráter mais rígido quanto a celebração de termos aditivos, condicionando à ocorrência de força maior e não a omissões do contratado.

O regime de contratação da obra estudada é do tipo RDC e, em razão da necessidade de elaborar os projetos básico e executivo de engenharia e executar a obra da nova ponte e acessos, a contratada é um consórcio entre duas empresas: a construtora (chamada de empresa X neste trabalho) e a empresa de projeto. Em licitações, um consórcio viabiliza que empresas potencializem seus atributos a fim de atingir um objetivo comum, com a inexistência de hierarquia entre as empresas consorciadas, mas sim com a determinação de obrigações recíprocas e específicas para cada uma (MOREIRA, 2005).

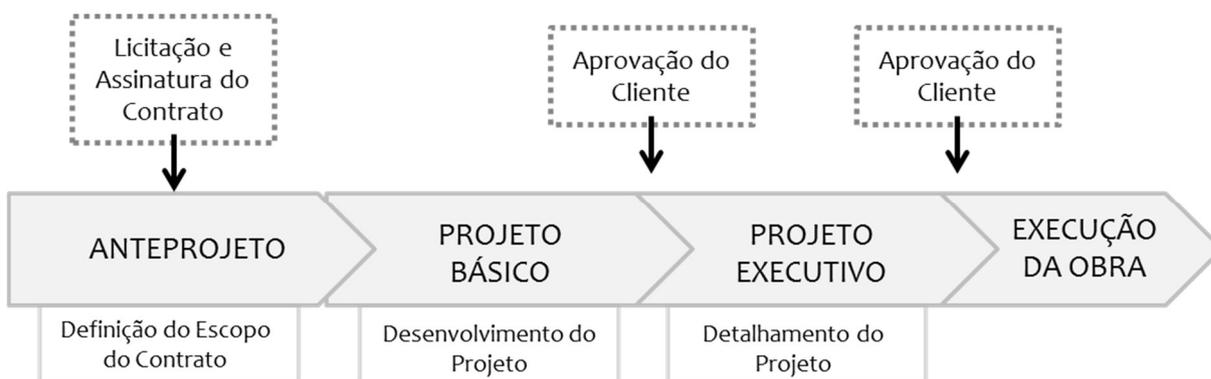
A contratação é do tipo empreitada por preço global, no qual o valor total da execução do objeto foi definido na concorrência pública e posteriormente firmado na assinatura do contrato. A contratada recebe medição mensal em razão dos serviços executados efetivamente concluídos, observando o cumprimento do cronograma físico-financeiro acordado na assinatura do contrato. Neste cronograma consta tanto a realização da obra como também produção dos elementos pré-fabricados.

6.3 PLANEJAMENTO LOGÍSTICO EXISTENTE

6.3.1 Visão Geral do Processo de Projeto e de Planejamento da Produção

Para entender os processos logísticos da obra, foram analisados os processos de desenvolvimento do projeto e de planejamento e controle de produção da obra, visto que o regime de contratação RDC possibilita a integração dos mesmos.

Figura 10 – Visão geral do processo de projeto do empreendimento



(fonte: elaborado pela autora)

O processo inicia no anteprojeto existente, elaborado pelo cliente, com base no objetivo da obra e considerando estudos como de tráfego, topográficos, sondagens, imagens aéreas e etc. O anteprojeto contém definições básicas para caracterizar a obra, permitir estimativas de custos e prazos de execução. A assinatura do contrato, após a empresa vencer a licitação, baseia-se no anteprojeto, sendo este utilizado para definir o escopo e valor do contrato e elaborar o cronograma físico-financeiro.

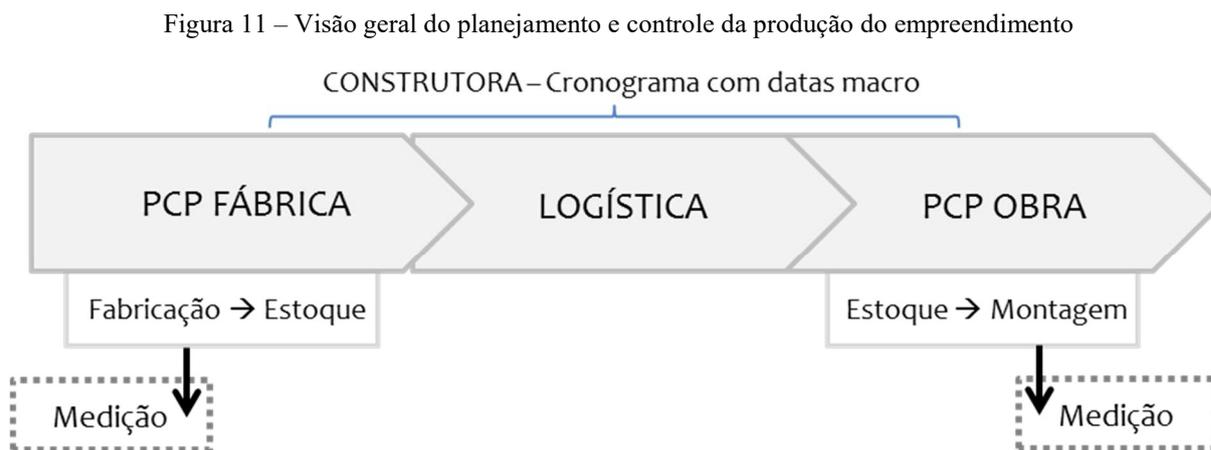
O processo segue com o desenvolvimento do projeto básico, no qual conta com elevada interação entre o setor de técnico da empresa construtora e a empresa de projeto. Nesta etapa, o custo estimado é comparado com o custo de assinatura de contrato (realizado com base no anteprojeto) e cabe a construtora analisar as condições de execução do projeto a fim de garantir que o custo seja menor que o valor fechado na assinatura do contrato e dentro do prazo estabelecido.

Após a aprovação do projeto básico pelo cliente, a empresa de projeto inicia os detalhamentos que compõem o projeto executivo. Nesta etapa, o setor técnico da construtora realiza análise crítica sistemática de todos projetos recebidos pela projetista, afim de avaliar a capacidade de desenvolver o projeto, identificar problemas e propor ações necessárias. A participação do setor de produção nesta etapa é importante para adequar projetos para a melhor execução, considerando equipamentos e mão de obra.

A execução de cada etapa da obra não pode iniciar sem a aprovação do projeto executivo pelo cliente. A separação da obra em etapas (trechos) e sub-etapas no projeto executivo viabiliza a antecipação do cronograma, ou seja, a etapa de criação e aprovação do projeto executivo de

uma etapa posterior pode ser desenvolvido concomitantemente com a execução dos serviços da etapa anterior. O projeto executivo devidamente analisado pelo setor técnico da construtora e aprovado pelo cliente é liberado para a produção.

Na figura 11 estão apresentados os três tipos de planejamentos que são realizados na obra: fábrica, logística e obra.



(fonte: elaborado pela autora)

É responsabilidade do setor técnico da obra a preparação de um plano de longo prazo do empreendimento, com definições de datas marco com base no contrato. Este plano é realizado como uma rede de precedência e define as datas de início e término de diversas etapas de fabricação e montagem.

No nível de médio prazo, são realizadas as atividades de identificação e remoção de restrições pelos responsáveis pela produção da obra em conjunto com os setores de apoio, bem como definições acerca de alterações do *layout* da fábrica, a partir do cronograma da obra. O controle da remoção de restrições é realizado em reuniões semanais com os responsáveis por cada setor, quando são apresentados o andamento das diversas atividades necessárias para a remoção de restrições. Mensalmente são apresentadas as metas de produção definidas para o mês em reunião com os encarregados das atividades, sendo apontadas a quantidade de peças a produzir na fábrica e as atividades referentes ao avanço físico da obra. As atividades não concluídas voltam a fazer parte das metas para o mês seguinte.

O sistema de planejamento e controle de produção da fábrica seguia a diretriz de elevada utilização da capacidade, para alcançar as metas mensais definidas. As referidas metas eram determinadas a partir do cronograma de montagem das peças em obra e pela necessidade de alteração do *layout* da fábrica, cuja área não permitia a instalação dos berços de fabricação de todas as famílias de peças da obra simultaneamente. Aliado a isto, a medição por peça fabricada também incentivava a fabricação de peças sem que a restrição de sua montagem em obra esteja eliminada. Os componentes, após fabricados, são movimentados para o seu local de estoque, organizado por tipo de família de peças.

O gerenciamento das atividades logísticas dos pré-fabricados é determinado com o avanço físico das atividades em obra, em razão da extensão do empreendimento, da análise de restrições e da existência de interferências no trecho, que inviabilizavam as frentes de serviço no local. Desta forma, a obra solicita a expedição de peças da fábrica em um horizonte de planejamento de curto prazo, afim de controlar as incertezas inerentes ao tipo de construção. O procedimento padrão é o transporte de peças para a obra que representam somente uma sub-etapa de montagem em obra (por exemplo, todas as estacas de um bloco de fundação). A movimentação de peças referentes a mais de uma sub-etapa da obra ocorria eventualmente, principalmente pela necessidade de esvaziar as áreas de estoque da fábrica e serão discutidos nos itens a seguir.

O fato de a elaboração dos projetos básicos e executivos ser de responsabilidade do consórcio e a possibilidade de ser emitido concomitantemente à execução da obra é muito importante na utilização de pré-fabricação. Isto criou oportunidade para que a construtora solicite alterações de projeto para fins de padronização e racionalização das peças, de forma que os processos de pré-fabricação fossem mais eficientes.

Por sua vez, as atividades no canteiro de obras também podem ser aperfeiçoadas com a possibilidade de melhoramento de projeto pelo regime de contratação. Além de aprimorar as peças para a fabricação, pode-se visar a melhor utilização dos recursos na execução da montagem. Isto oferece oportunidades para analisar e aperfeiçoar processos críticos que possam limitar a produção, desde a etapa de projeto.

6.3.2 Produção de Elementos Pré-Fabricados

6.3.2.1 Instalações fabris

Para a fabricação das estruturas pré-fabricadas, a obra conta com duas fábricas (canteiros industriais), A e B (figuras 12 e 13), sendo assim responsabilidade da empresa X tanto fabricação dos elementos pré-fabricados quanto a montagem dos mesmos em obra. No canteiro industrial A, localizado a aproximadamente vinte quilômetros do canteiro de obras, são fabricadas as vigas U, sendo que, até o momento deste estudo, não havia sido realizada a movimentação de peças para a obra. Por sua vez, no canteiro industrial B localizado a aproximadamente sete quilômetros do canteiro de obras, são fabricadas as demais peças a serem utilizadas na obra, incluindo estacas, módulos para blocos de fundação, pilares circulares e retangulares, aduelas, entre outras.

Figura 12 – Canteiro industrial A



(fonte: foto da empresa estudada)

Figura 13 – Canteiro industrial B



(fonte: foto da empresa estudada)

Considerando que as peças fabricadas pelo canteiro industrial A ainda não foram movimentadas e utilizadas na obra, neste trabalho foi estudado o canteiro industrial B, denominado de “fábrica”.

No quadro 3 está apresentado um resumo com as principais características e atividades do fábrica B, com os dados referentes a fevereiro de 2017, assim como previsão de demanda para as fases seguintes do empreendimento.

Quadro 3 – Quadro técnico da fábrica B (fev/17)

Localização	Canoas / RS
Área de produção (m²)	50.000
Arranjo	Por produto
Nº de famílias de peças já produzidas	8
Quantidade de linhas de fabricação em atividades	5
Quantidade de berços de fabricação a serem instalados	4

(fonte: elaborado pela autora)

A figura 14 apresenta a vista aérea da fábrica, com indicação das cinco linhas de produção existentes (L1 a 5). A área A representa a área destinada para laboratório e central de armação. Entre as linhas três (L3) e quatro (L4) pode-se observar uma área de serviço (B), utilizada para entrada e saída de equipamentos, estoque de materiais (aço e cordoalhas) e estoque de peças fabricadas. Por sua vez, a área C indica a área reservada para escritórios, almoxarifado, refeitório, vestiário e estoque de outros materiais. É importante ressaltar que a área C situa-se abaixo do tabuleiro de uma ponte, que serve como cobertura para as edificações citadas. Os equipamentos utilizados na fábrica se mantiveram constantes durante a realização deste trabalho.

Figura 14 – Vista Aérea da Fábrica

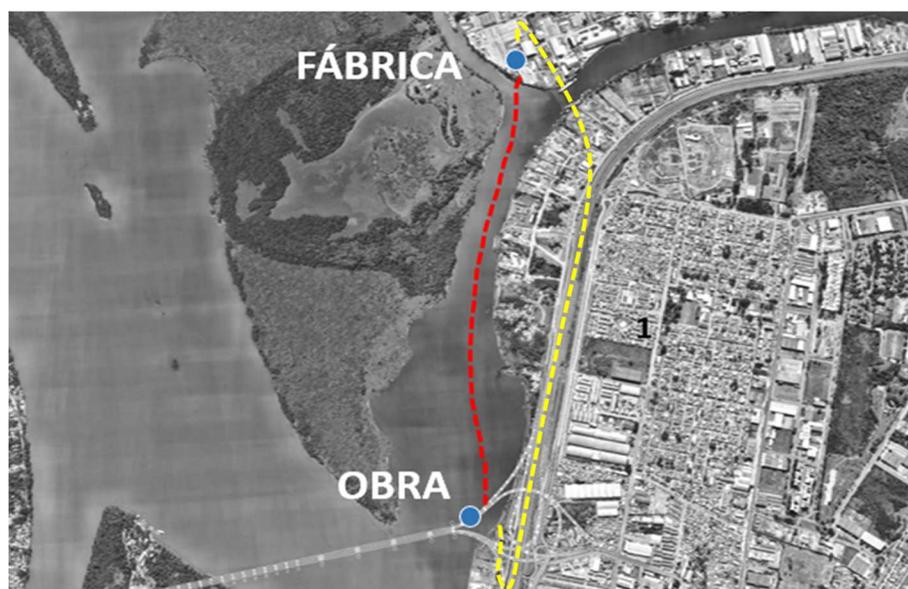


(fonte: empresa estudada)

Com a indicação de setas vermelhas na figura 14, pode-se observar as entradas e saídas do canteiro de obras. Alinhados às linhas de produção L4 e L5, há dois diques para o embarque de peças transportadas pelas balsas. A outra seta vermelha indica a saída terrestre, juntamente à rodovia BR-448.

A linha tracejada de cor vermelha na figura 15 apresenta o trajeto entre a fábrica e o canteiro de obras, cuja distância é 3,20 quilômetros. O transporte das peças pode ser realizado de modo hidroviário, realizado por balsas que realizam o trajeto em aproximadamente 30 minutos, indicado em vermelho na figura 15. De modo rodoviário, o transporte é realizado por carretas em aproximadamente 10 minutos, indicado em amarelo na figura 15.

Figura 15 – Percurso do transporte entre fábrica e obra



(fonte: elaborado pela autora através do Google Earth, 2017)

A quantidade de linhas de produção da fábrica é inferior a quantidade de famílias a serem produzidas na totalidade da obra. Ou seja, há a necessidade de mudança do *layout* industrial durante o período de execução dos pré-fabricados. No momento da realização deste estudo, a fábrica estava passando por mudanças: estava sendo desativada a L4 como fabricação de estacas para água e projetado o berço de aduelas, que será instalado na linha L5.

É importante observar que as linhas de produção L4 e L5 apresentam saída direta de peças embarcadas, ou seja, é importante que esta linha de produção seja destinada às peças a serem montadas em água. Por sua vez, as linhas L1, L2 e L3 são prioritariamente utilizadas para peças

montadas nos trechos em terra, de maneira que evite movimentação excessiva das peças para expedição na fábrica.

6.3.2.2 Identificação das peças

A identificação da peça produzida e a sua rastreabilidade são consideradas muito importantes na adoção de elementos pré-fabricados em obras. É realizado um controle tecnológico do produto fabricado, visando a garantia de qualidade, desempenho e certificação final das peças. Estes procedimentos são indispensáveis para garantir a qualidade do produto conforme parâmetros estabelecidos em projeto.

A denominação das peças fabricadas é realizada através da utilizada uma sigla específica para cada estrutura (de 2 a 3 caracteres) e que é seguida de numeração crescente. A identificação é realizada com tinta industrial no dia da desforma da peça, conforme figura 16 a seguir. Para facilitar a identificação das peças disponíveis para movimentação, também é escrita a data de fabricação da mesma, para que seja possível verificar as resistências mínimas de projeto antes de movimentá-las.

Figura 16 – Identificação de peças



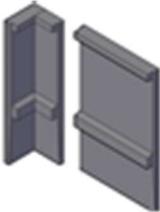
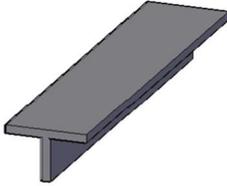
(fonte: foto da autora)

6.3.2.3 Família de Peças

A fábrica estudada apresenta grupos de famílias de peças pré-fabricadas em concreto armado ou protendido que variam de 10 a 100 toneladas. Neste estudo foram estudadas as famílias de

peças de estacas circulares e quadradas, módulos pré-fabricados de blocos de fundação e vigas-laje. Essas famílias foram escolhidas por ter quantidade significativa de peças produzidas na fábrica e montadas em obra. O quadro 4 apresenta a quantidade de peças previstas por projeto para cada uma das famílias, em fevereiro de 2017. Pode-se também observar o peso médio da peça, um desenho esquemático da peça e a quantidade de tipos existentes em projeto. Na figura 17 é apresentado o seu status na obra no início da execução deste estudo – se aplicada, em estoque ou a fabricar.

Quadro 4 – Famílias de peças estudadas (fev/2017)

Bloco Fundação		Estacas		Viga-Laje	
Projeto	838	Projeto	2949	Projeto	804
Aplicadas	688	Aplicadas	1485	Aplicadas	0
Estoque	150	Estoque	1084	Estoque	804
À fabricar	0	À fabricar	380	À fabricar	0
Peso Médio	4,6 t	Peso Médio	33,4 t	Peso Médio	15,8 t
					
29 tipos		19 tipos		4 tipos	

(fonte: elaborado pela autora)

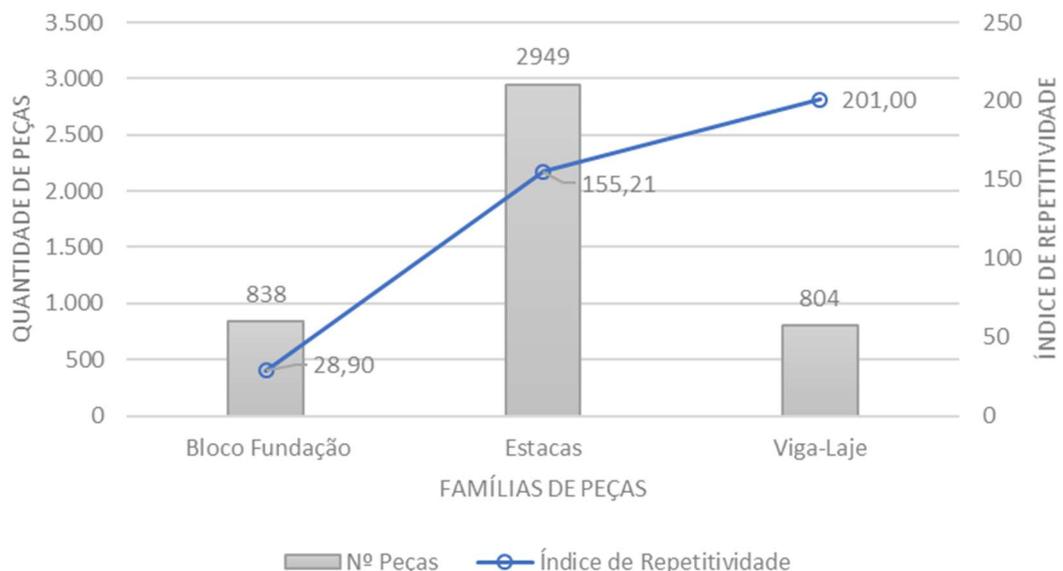
Figura 17 – Status das famílias estudadas



(fonte: elaborado pela autora)

Os dados coletados permitem calcular o índice de repetitividade (o número total de peças do projeto dividido pela quantidade de variações da mesma família), conforme figura 18. Por exemplo, para as estacas tem-se 2949 unidades por projeto e 19 tipos, resultando em um índice de repetitividade de 155,21. O índice de repetitividade quantifica a racionalidade do projeto, o que pode afetar a facilidade de execução e, assim, a tomada de decisão nas etapas de planejamento. Os altos índices encontrados apresentam o caráter repetitivo das peças do empreendimento, possibilitando explorar a repetitividade e a escala na produção, características da industrialização da construção.

Figura 18 – Índice de repetitividade das famílias estudadas

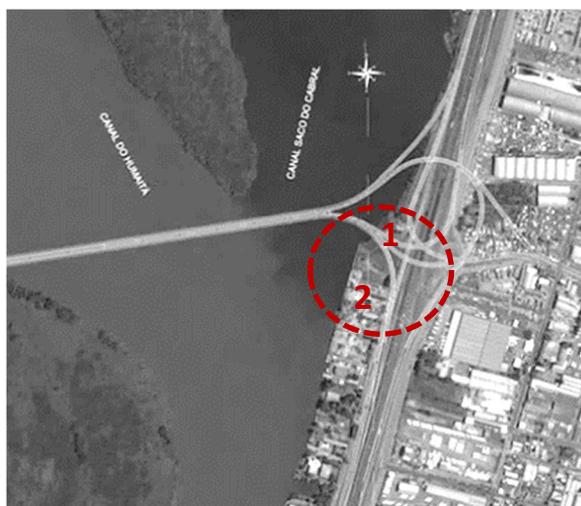


(fonte: elaborado pela autora)

6.3.3 *Layout do Canteiro de Obras*

O canteiro de obras ocupava uma área de grande extensão, compreendendo a faixa de domínio do trecho do empreendimento, cuja extensão é 12,3 km. Como a obra era caracterizada pelo grande número de frentes de serviço em áreas afastadas, instalações provisórias eram movimentadas para acompanhar as frentes de serviço. Estas instalações eram constituídas por containers e banheiros químicos, para armazenamento temporário de materiais, resíduos e apoio aos colaboradores em serviço. Por sua vez, havia uma área de instalações provisórias fixas durante a realização da obra, que era denominado de canteiro administrativo, cuja localização consta na figura 19.

Figura 19 – Localização do canteiro administrativas no empreendimento



(fonte: empresa estudada)

A área do canteiro administrativo, contendo escritórios, refeitório, almoxarifado, oficina, central de carpintaria, estação de tratamento de esgoto, bate lastro dos caminhões de concreto, enfermaria, e vestiário, compreendia 19.000 m², conforme figuras 20 e 21

Figura 20 – Canteiro Administrativo



(fonte: adaptado de empresa estudada)

Figura 21 – Canteiro Administrativo



(fonte: adaptado de empresa estudada)

O canteiro ainda contava com um terreno contíguo destinado para estoques em geral. Como pode ser visto na figura 22, o grande comprimento de margem à água facilitava manobras de equipamentos para movimentação de materiais às balsas, sendo utilizado para armazenamento de aço e peças pré-fabricadas.

Figura 22 – Área do canteiro destinada para estoques



(fonte: adaptado de empresa estudada)

6.3.4 Diagnóstico dos Processos Logísticos Existentes

Este subitem apresenta o diagnóstico realizado em três famílias de peças produzidas na fábrica B, visando entender os processos de fabricação, movimentação e montagem. As famílias escolhidas foram as primeiras peças fabricadas na fábrica do canteiro, assim, sua fabricação e montagem representam as primeiras atividades de avanço físico da obra.

Neste diagnóstico buscou-se entender os itens condicionantes que levaram à tomada de decisão das atividades realizadas, descrevendo-os para cada uma das famílias. Também, foram coletados dados referentes ao período de novembro de 2015 à março de 2016 para quantificar o avanço físico referente às famílias estudadas e entender o relacionamento das atividades logísticas.

Tabela 1 – Dados utilizados referentes à fabricação e montagem

		ESTACAS	BLOCOS FUNDAÇÃO	VIGAS-LAJE
Mês 1	FABRICAÇÃO	128	57	136
	MONTAGEM	126	0	0
Mês 2	FABRICAÇÃO	88	35	122
	MONTAGEM	80	28	0
Mês 3	FABRICAÇÃO	84	63	48
	MONTAGEM	149	56	0
Mês 4	FABRICAÇÃO	63	62	0
	MONTAGEM	103	24	0
Mês 5	FABRICAÇÃO	32	79	0
	MONTAGEM	135	84	0

(fonte: elaborado pela autora)

A análise destes dados frente aos dias de trabalho nos meses analisados, permite a identificação do ritmo de fabricação e montagem de cada peça, bem como a comparação entre estas duas atividades. Conforme tabela 2, pode-se observar que para o empreendimento estudado o número de peças montadas é superior ao número de peças fabricadas para todas as famílias analisadas.

Tabela 2 – Média do número de peças fabricadas e montadas por dia trabalhado

		ESTACAS	BLOCOS FUNDAÇÃO	VIGAS-LAJE
Média Diária	FABRICAÇÃO	4,70	3,70	3,64
	MONTAGEM	6,31	6,62	-

(fonte: elaborado pela autora)

6.3.4.1 Família de Estacas

Estacas são elementos estruturais constantes na infraestrutura do empreendimento e, juntamente com o bloco de coroamento, compõe a fundação da obra. Esta solução construtiva é utilizada em todos os trechos do empreendimento e, desta forma, é a peça pré-fabricada de maior quantidade por projeto. Assim, esta foi a primeira família produzida na fábrica e também a primeira peça movimentada e montada em obra.

Estas peças apresentam-se em duas modalidades: seção quadrada e seção circular, ambas fabricadas na fábrica B. As estacas de seção quadrada são utilizadas para execução de fundação em terra e fabricadas na linha de fabricação L3, enquanto as estacas de seção circular, cravadas em água e fabricadas na linha de fabricação L4. O comprimento das estacas é uma dimensão variável, de acordo com o solo em que será cravada, e, desta forma, constam 19 tipos diferentes de estacas no projeto estrutural.

O projeto estrutural de estacas contempla a realização de protensão por aderência inicial, ou seja, a armadura ativa da peça é tensionada em berços de protensão antes da concretagem. Logo, a armadura passiva é colocada e é realizada a concretagem. Após adquirir resistência definida por projeto, os fios da ancoragem ativa são cortados e ancoragem no concreto se dá por aderência.

As estacas, após fabricadas, são alocadas em estoques dentro da fábrica, ao final da sua linha de produção. O transporte destas peças ao canteiro de obras é realizado através de carretas, para estacas quadradas, e balsas para estacas circulares.

Com o andamento das atividades e liberações de frentes de serviço, a obra solicita à fábrica o transporte das peças. Assim, a fábrica faz a expedição das peças e o setor de movimentação de cargas identifica os equipamentos disponíveis e faz o transporte das peças à obra.

A montagem de estacas em obra está condicionada à liberação de serviços nos trechos do empreendimento. Desta forma, esta atividade está ligada às incertezas características da obra, principalmente referentes à interferências e reassentamentos. Isto contribuiu para a formação de uma quantidade de peças em estoque.

A necessidade de alterar o *layout* da fábrica através da instalação de berços de fabricação para novas famílias fez com que peças que estavam em estoque no pátio da fábrica fossem movimentadas para perto do local de montagem e depositadas em estoque em obra até a liberação de montagem.

6.3.4.2 Família de Blocos de Fundação

As peças pré-fabricadas de blocos de fundação em concreto armado, quando montadas, tem a função de bloco de coroamento das estacas cravadas, finalizando a execução da fundação de um pilar do empreendimento.

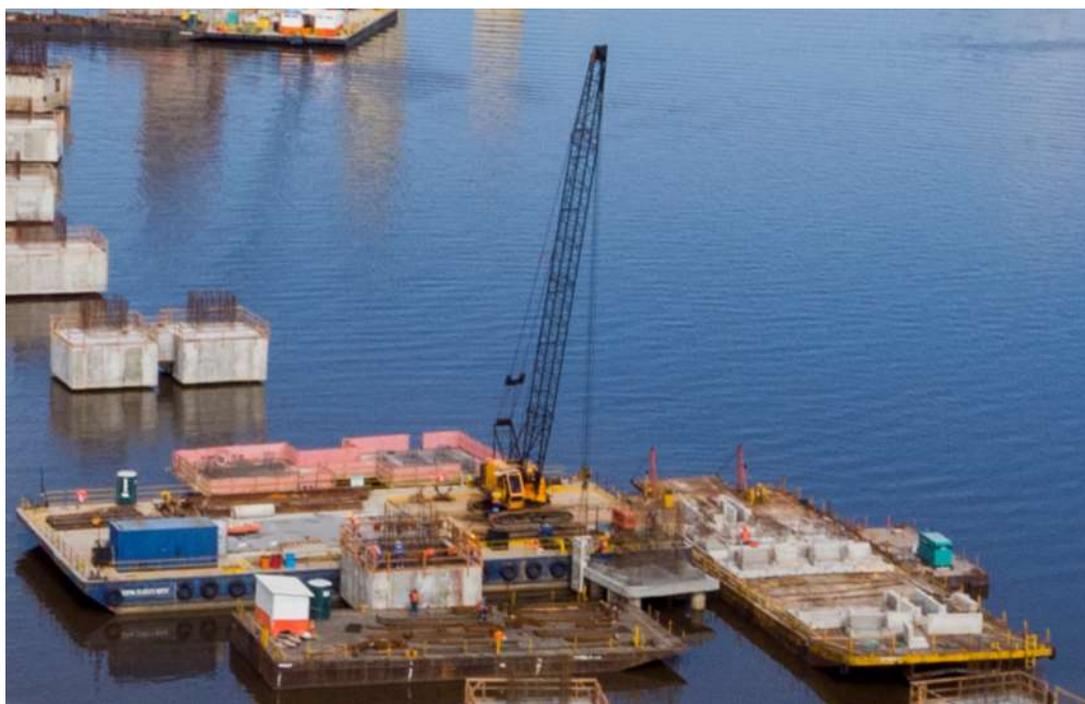
Este método construtivo é uma solução para a execução de blocos de coroamento em água, minimizando a utilização de cimbramento convencional e a execução de formas, reduzindo a possibilidade de interferências frente às condições de clima e hidrologia. O método consiste na fabricação de placas em concreto armado que, ao serem colocadas lado a lado, serão a “casca” do bloco de fundação, ou seja, a forma.

O desenvolvimento do projeto destas peças passou por etapas de aperfeiçoamento frente aos requisitos de montagem de pré-fabricados. Inicialmente, as peças apresentavam dimensões maiores e menor quantidade por bloco de fundação. No entanto, isto causaria a necessidade de equipamentos de maior porte e mais cuidados quanto à segurança da operação de içamento e montagem. O melhoramento do projeto possibilitou a divisão dos blocos em peças menores, criando peças com dimensões padronizadas e que permitem as mesmas peças serem aplicadas em blocos de dimensões variadas.

A fabricação destas peças é realizada com formas metálicas na linha de produção L5, próxima ao dique de embarque náutico e o estoque das peças fabricadas é realizado na área contígua. Por sua vez, o transporte é realizado através de balsas ao canteiro de obras, que movimenta as peças e serve de apoio às atividades de montagem em obra, conforme figura 23.

Para sua aplicação em obra, é necessária a execução de uma laje de fundo de bloco (primeira etapa de concretagem), cujas estacas estão engastadas. Logo, com a utilização de um guindaste e uma equipe de aproximadamente 5 pessoas, é possibilitada a montagem das placas, que variam de 14 unidades (blocos de 100 m³) a 42 unidades (blocos de 1.138 m³).

Figura 23 – Montagem de blocos de fundação em obra



(fonte: empresa estudada)

A solicitação de movimentação destas peças à obra é realizada por técnicos de produção à equipe de engenharia da fábrica B, via telefone ou e-mail, informando a demanda das peças à obra. Esta demanda é informada à curto prazo, com dias de antecedência, e é indicada pela atividade de concretagem da laje de fundo, que viabiliza a montagem dos módulos. Neste momento a balsa é movimentada à fábrica B, que faz o carregamento das peças do estoque na fábrica à balsa e retorna à obra.

6.3.4.3 Família de Vigas-Laje

Vigas-laje são elementos pré-fabricados constantes na superestrutura do empreendimento no trecho em elevação leve. Seu projeto apresenta uma seção T, cuja alma atua como viga e a mesa como pré-laje. A utilização de concreto protendido permite dimensões reduzidas e o alcance de grandes vãos.

A fabricação de vigas-laje na fábrica B foi realizada na linha de produção L1, cuja área de produção de 750m² permitia a capacidade de produção de oito unidades por dia, conforme figura 14. O transporte destas peças ao local de montagem era realizado através de transporte rodoviário, através das rodovias federais até a obra, conforme figura 17.

Os trechos do empreendimento que utilizam as vigas-lajes como componentes da sua superestrutura se localizam nas ilhas constantes na Unidade de Conservação Ambiental, denominadas neste trabalho de ilha 1 e ilha 2. No entanto, quando iniciada a fabricação de vigas-laje, nenhuma destas frentes de serviço estavam liberadas para execução de atividades. A ilha 2 apresenta grande área a ser desocupada e famílias a serem reassentadas, que, durante a execução deste trabalho, ainda não havia sido desapropriada.

A execução de atividades na ilha 1, por outro lado, foi iniciada durante a execução deste trabalho, com a cravação de estacas no local. Porém, a fabricação dos blocos que fazem a ligação da infraestrutura à superestrutura, ou seja, das estacas às vigas-laje, ainda não tinha sido iniciada. Dificuldades com a liberação do projeto desta peça devido a alterações que visavam a melhor utilização dos recursos na hora da montagem fizeram o projeto ser repassado para fabricação tardiamente. Desta forma, em locais que já haviam estacas cravadas, a aplicação de vigas-laje foi postergada pela fabricação dos blocos.

A grande quantidade de peças fabricadas e não aplicadas gerou um grande volume de estoque na fábrica, que, como também ocorrido com estacas, foram movimentadas para próximo do local de aplicação, conforme figura 24. Isto resultou em diversos pontos de estoque e na necessidade de movimentar as peças novamente para montagem.

Figura 24 – Estoque de peças de vigas-laje próximas ao local de aplicação



(fonte: empresa estudada)

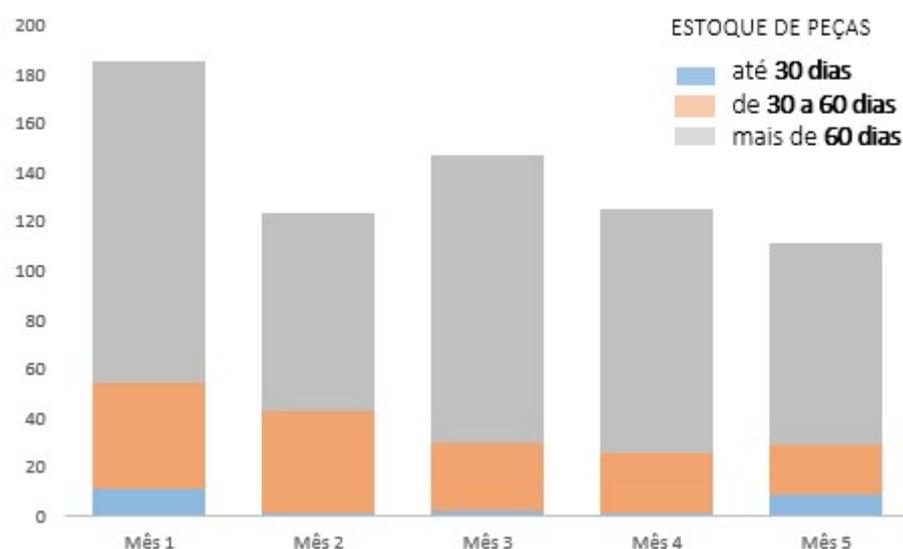
6.3.4.4 Discussão

As pesquisas realizadas referentes ao setor logístico de empresas responsáveis pela produção de pré-fabricados apresentam a importância do setor para melhorar os processos logísticos, visando à eliminação de atividades que não agregam valor. No entanto, as pesquisas são normalmente realizadas em empresas em ambientes *engineer-to-order* (BORTOLINI, 2015; SANTOS, 2016; VIANA, 2015) e, na revisão da bibliografia, há pouca referência a empresas que são responsáveis pela fabricação e pela obra, como também em empreendimentos públicos de infraestrutura. Neste cenário, é possível identificar a dificuldade do planejamento logístico das peças pré-fabricadas, devido à grande incerteza inerente ao tipo de construção e ao regime de contratação.

Na obra estudada, o incentivo à produção com a premissa da alta utilização da capacidade da fábrica foi o reflexo da necessidade de alteração de *layout* da fábrica para a fabricação de novas famílias, das grandes incertezas referentes ao andamento da obra e da medição por peça pré-fabricada produzida. Como um risco da fabricação de grandes quantidades de peças, pode-se citar a possibilidade de se identificar problemas de projeto somente na etapa de montagem (no qual teriam muitas peças já fabricadas).

No entanto, isto acarretava em elevados níveis de trabalho em progresso (WIP), devido a quantidade de peças fabricadas e não aplicadas, ou seja, com muitos lotes abertos. Desta forma, foram identificados estoques em processamento, tanto estocados na fábrica, quanto em obra. A figura 25 apresenta o tempo de estoque de peças montadas no período estudado. Para isto, é importante observar que, para pré-fabricados de concreto, a movimentação é permitida somente após o rompimento de corpos de prova e a verificação da resistência ensaiada com a mínima de projeto para movimentar. Para a elaboração da figura 25 foram considerados os 28 dias de resistência como o desejável para a realização da movimentação das peças, a fim de contemplar possíveis variações decorrentes de diversos fatores, tais como o cimento utilizado, o uso de aditivos e as condições climáticas de cura, que não foram considerados no levantamento. As informações apresentadas mostram a dificuldade de alinhar produção e montagem, visando estoque zero, em obras desta natureza e contratação, como descrito nos itens anteriores.

Figura 25 – Tempo de estoque de peças fabricadas e montadas



(fonte: elaborado pela autora)

A análise do avanço físico da obra, no período estudado, possibilitou a percepção que a empresa utilizava grandes lotes, com número elevado de componentes em uma mesma sub-etapa. De acordo com Bulhões (2009), obras de estruturas de concreto pré-fabricadas devem ser segmentadas em pequenos lotes repetitivos, reduzindo a movimentação de equipamentos, eliminando atividades que não agregam valor.

O regime de contratação RDC, apesar de permitir o desenvolvimento do projeto juntamente ao andamento da obra, proíbe o início de uma etapa de construção sem a aprovação final do projeto executivo pelo cliente. Ou seja, a aprovação do projeto de uma etapa da obra pode acontecer simultaneamente à execução de uma etapa anterior. Portanto, a utilização do conceito de pequeno lote na construção de empreendimentos desta natureza é complicada e, muitas vezes, impedidas, devido à falta de aprovação do projeto para entregar um lote completo.

Isto pôde ser observado na tomada de decisões na fabricação de algumas famílias. Por exemplo, enquanto os projetos de alguns trechos da obra ainda estavam em fase de aprovação, não havia definição sobre a locação de estacas e, assim, as mesmas não puderam ser cravadas e ficaram em estoques. Por outro lado, no momento em que o projeto for aprovado, será viabilizada a cravação e, desta forma, haverá a necessidade de grande quantidade de peças prontas para montagem.

Neste cenário, é interessante entender o conceito do ponto de desacoplamento, ou seja, o momento em que a produção deixa de ser empurrada e passa a ser puxada. Assim, a adoção de estoques estratégicos sobre as incertezas relativas ao empreendimento é viabilizada, produzindo a quantidade necessária para atuar como lote mínimo de montagem.

O transporte de peças à obra através de balsas apresenta uma possibilidade de adoção do pequeno lote em construções desta natureza: o lote movimentado para a balsa é transportado para montagem e serve como apoio para as atividades em água, eliminando a necessidade de outros equipamentos para descarregamento e alocação em estoque no canteiro de obras, reduzindo a quantidade de atividades que não agregam valor. Isto caracteriza o lote de transporte como um lote de montagem, no qual são transportadas a quantidade de peças mínimas para a montagem. De acordo com Santos (2016), isto possibilita a melhor organização dos estoques na fábrica, aumentando a transparência no pátio, a organização dos descarregamentos e o fluxo de materiais no canteiro.

7 DIRETRIZES PARA A GESTÃO LOGÍSTICA DE PRÉ-FABRICADOS

Com base no diagnóstico realizado, são propostas melhorias na gestão dos processos logísticos envolvendo os elementos pré-fabricados. O primeiro passo para isto é a compreensão das atividades desenvolvidas no estudo de caso, o que as motivaram e suas consequências no planejamento e controle da produção. Logo, pode-se identificar possibilidades de melhorias e, a partir da revisão bibliográfica, compatibilizar modelos estabelecidos às condições da obra em questão.

Por fim, são apresentadas as diretrizes para a gestão logística de obras de sistemas pré-fabricados, afim de integrar o planejamento e controle de produção entre fábrica e obra.

7.1 PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS PARA A GESTÃO LOGÍSTICA DA OBRA ESTUDADA

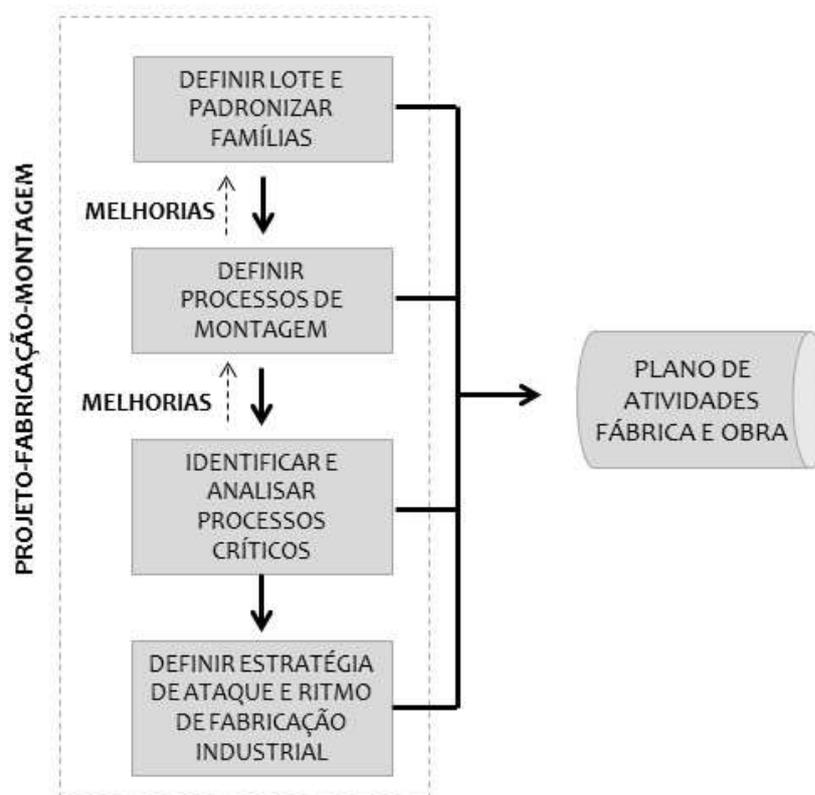
Neste item são apresentados os aprendizados no desenvolvimento do estudo de caso e a proposição de melhorias para a gestão logística da obra em questão. Como descrito anteriormente, os problemas mais significativos identificados foram relacionados ao ritmo de fabricação de peças com relação ao ritmo de montagem e sequenciamento de atividades, gerando estoques excessivos e dificultando o seu controle.

Em relação à fabricação, algumas famílias de peças já haviam sido produzidas em sua totalidade e sua montagem inviabilizada enquanto outras famílias, que já tinham restrições removidas para montagem, ainda não haviam sido iniciadas. Neste quesito, através do estudo de modelos da bibliografia, sugere-se uma adequação do plano logístico de longo prazo da obra, por meio do planejamento de atividades da fábrica e da obra, reavaliando o tamanho do lote de execução, conforme figura 26. A definição do tamanho do lote deve ser realizada na etapa de projeto, permitindo a padronização das famílias, identificando e analisando os processos críticos e viabilizando a liberação de projetos que possibilitem a execução de um lote completo.

Os trechos definidos desde a etapa de projeto devem ser divididos em lotes pequenos de montagem (sub-etapas) repetitivos e claramente definidos. Isto busca, conforme Bulhões

(2009), a obtenção de um sistema nivelado em relação à demanda, utilizando adequadamente a capacidade da fábrica, do sistema de transporte e montagem em obra. Desta forma, é possível a eliminação de atividades que não agregam valor, tais como movimentações desnecessárias e excesso de estoque de produtos intermediários, permitindo a diminuição do *lead time* de algumas peças e conseqüentemente o aumento do número famílias de peças sendo produzidas simultaneamente na fábrica.

Figura 26 – Planejamento de longo prazo: integração projeto-fabricação-montagem



(fonte: elaborado pela autora)

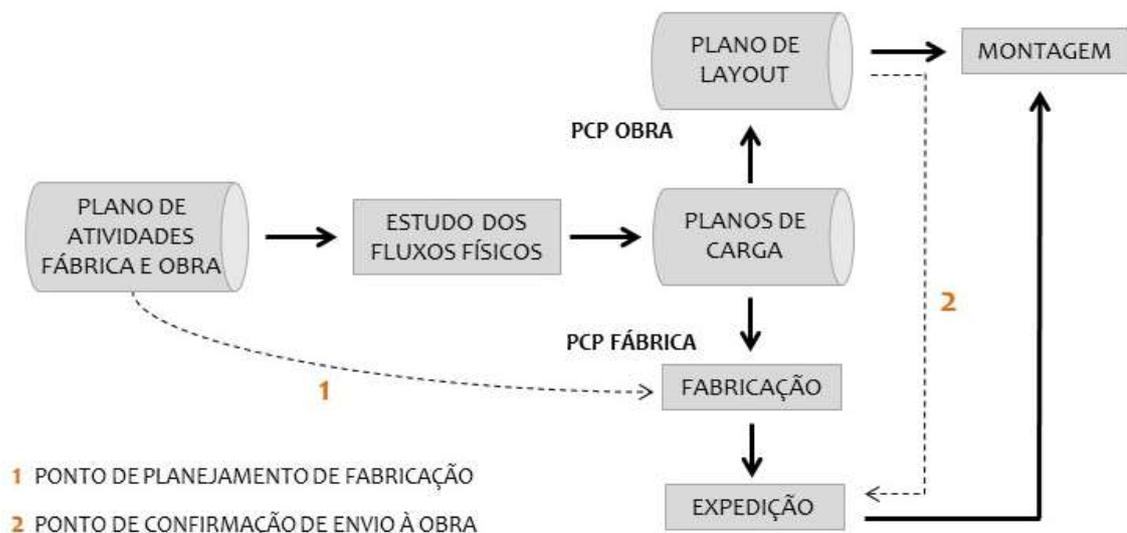
Com o pequeno lote de montagem definido, é possível definir o plano de cargas como uma ferramenta para integrar o planejamento e controle da produção entre fábrica e obra, fundamentado nas sugestões de pesquisas anteriores (SANTOS, 2016; VIANA, 2015). A elaboração de planos de cargas deve contemplar as características do local de montagem e possibilitar a adoção de um lote de transporte que possibilite um fluxo ininterrupto de produção em obra. O alinhamento entre o lote de transporte e a quantidade mínima de peças para o fluxo ininterrupto em obra reduz estoques de peças no canteiro de obras, diminuindo o trabalho em progresso (WIP).

O estudo dos modelos da bibliografia indicou a importância da identificação e remoção de restrições, em um horizonte de tempo de planejamento de médio prazo. Neste quesito, para a obra estudada, recomenda-se a compatibilização dos fluxos físicos aos planos de carga. O estudo dos fluxos físicos envolvidos nas atividades de execução da obra são: definição dos acessos, definição de equipes e equipamentos necessários, definição de áreas de estoques e instalações provisórias e vias de circulação de veículos e pedestres.

Detendo estas informações, é possível a realização do planejamento de produção da fábrica através da sincronização da produção industrial da fábrica à montagem de pré-fabricados na obra. Isto pode ser realizado através de dois horizontes de planejamento, trabalhando como uma ferramenta para limitar o WIP: a médio prazo (com frequência de quatro a seis semanas, alinhado ao *lead time* do produto) para programar a produção demandada pela obra e a curto prazo (semanal) para confirmar a necessidade de movimentação destas peças, conforme indicados na figura 27 nos pontos 1 e 2.

A implementação de planos de carga que contemplem as incertezas do canteiro de obras é importante para a integração entre o PCP da fábrica e PCP da obra, ou seja, a produção de peças na fábrica deve ser puxada pela obra e, posteriormente, a expedição de peças deve ser puxada pela confirmação da possibilidade de montagem.

Figura 27 – Integração entre planejamento fábrica e obra



(fonte: elaborado pela autora)

Recomenda-se, no nível médio prazo, a definição de um plano de *layout* (reconfiguração do layout da obra específica para esta movimentação) baseado nas definições do plano de cargas e dos fluxos físicos do médio prazo, determinando o correto posicionamento das cargas recebidas diariamente em obra, contemplando a constante atualização dos estoques e do material montado. No planejamento a curto prazo, por sua vez, é importante a existência de uma grande sinergia entre as equipes de produção e as equipes de movimentação de cargas: a eficiência na movimentação de peças para a correta posição em estoque visando a minimização de perdas de produção exige o comprometimento destas equipes.

Neste horizonte é importante, também, a formalização de reprogramação de cargas produzidas que tiveram sua movimentação à obra canceladas, para que seja definida a correta alocação desta carga no estoque do pátio da fábrica.

Em relação à produção de famílias de peças ainda não iniciadas, ou seja, que ainda se encontram em situação de planejamento de implementação de berço de fabricação, recomenda-se a análise do planejamento de longo prazo de produção, com o estudo da padronização de famílias, processo de montagem e definições de ritmo e local de fabricação, conforme figura 26. Por sua vez, para as famílias de peças que já apresentam fabricação e montagem iniciadas, um dos caminhos para a minimização das perdas e melhor utilização dos recursos é a revisão dos procedimentos adotados de planejamento à médio e curto prazo, ou seja, a definição de plano de cargas e fluxos físicos e, por fim, a elaboração de um plano de *layout* para a correta movimentação das peças da fábrica à obra, conforme figura 27.

7.2 DIRETRIZES

Com base no que foi apresentado anteriormente, pode-se destacar uma série de diretrizes para a gestão logística entre fábrica e obras de sistemas pré-fabricados. Estas diretrizes foram desenvolvidas para obras de grande porte, elevado grau de incertezas e com regime de contratação RDC, cujo processo de desenvolvimento do projeto ocorre concomitantemente ao planejamento e controle de produção.

Seguem as diretrizes para a integração do planejamento e controle logístico entre fábrica e obra de sistemas pré-fabricados, contemplando os três níveis hierárquicos:

- a) definir lotes de produção e montagem através de datas marco do cronograma da obra;
- b) planejar o sequenciamento dos processos de montagem e fazer um planejamento detalhado dos processos críticos;
- c) elaborar planos de cargas, identificando e removendo restrições para planejar a montagem em obra e definir ritmo de fabricação de peças;
- d) realizar plano de *layout* para movimentação da carga à obra;
- e) criar mecanismos de confirmação da movimentação à obra, ou replanejar a alocação da carga na fábrica.

No planejamento de longo prazo, deve-se definir um cronograma com datas marco, com base nas definições de contrato e que será a diretriz para a tomada de decisão nos demais níveis de planejamento. Neste cronograma deve conter a divisão da obra em etapas e sub-etapas (lotes produção e montagem).

Aliado ao processo de projeto, é importante o planejamento e sequenciamento dos processos de montagem para o planejamento detalhado de processos críticos, que possam vir a limitar a produção. Neste momento é importante a integração entre os setores de projeto e produção, afim de se melhorar a concepção do produto, visando a facilidade de produção e montagem das peças pré-fabricadas.

A elaboração de planos de carga, no planejamento de médio prazo, deve contemplar características intrínsecas do canteiro de obras afim de alinhar a produção da fábrica. Ou seja, deve ser elaborado juntamente com a remoção de restrições do planejamento de médio prazo do canteiro de obras, definindo demanda e ritmo de produção das peças. Desta forma, a elaboração de plano de cargas serve para puxar a produção industrial à montagem em obra.

Aliada a elaboração dos planos de carga, devem ser realizados planos de *layout* para o correto transporte de peças da fábrica à obra e o correto posicionamento em estoque no canteiro de obras.

No curto prazo, em um horizonte pré-definido que contemple as características da fábrica e da obra, deve ser realizada a confirmação de expedição de peças ao canteiro de obras, visando a diminuição de estoques em processamento no canteiro de obras. O replanejamento das cargas no estoque da fábrica deve ser realizado, caso a obra não confirme o transporte para montagem.

Os controles de fabricação, movimentação e montagem devem ser atualizados constantemente, facilitando a reprogramação das cargas e atividades de montagem.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como motivação a possibilidade de analisar um problema prático em uma obra que projeta, fabrica e monta sua estrutura pré-fabricada em concreto armado e protendido. Este trabalho teve como objetivo principal a proposição de diretrizes para integrar o planejamento logístico entre fábrica e obra de sistemas pré-fabricados, através de um estudo dos procedimentos logísticos de uma obra de arte especial.

Foi possível realizar um diagnóstico dos procedimentos da obra estudada através de dados quantitativos referentes a peças fabricadas, movimentadas e montadas em obra, análise de projetos executivos da obra e projetos de *layout* de canteiro, conhecimento dos procedimentos de montagem de pré-moldados e informações adquiridas através de entrevistas com os envolvidos nas atividades estudadas.

Com os dados coletados, foi possível a compreensão das etapas envolvidas na utilização dos elementos pré-fabricados e como se diferencia de uma obra convencional. Assim, foi importante o entendimento de características intrínsecas a este tipo e porte de obra.

A partir do diagnóstico realizado, foi possível propor diretrizes para o planejamento logístico integrado entre fábrica e obra, atendendo o objetivo principal deste trabalho. É importante ressaltar que as diretrizes propostas foram realizadas com base em uma obra que fabrica e monta os elementos pré-fabricados. Desta forma, para utilização destas diretrizes em obras de natureza diferente devem ser realizadas adaptações necessárias, afim de compatibilizar ao contrato e ao planejamento da mesma.

O objetivo secundário de propor melhorias para o planejamento logístico da obra estudada foi atingido com a proposição de alterações de procedimentos identificados na etapa de diagnóstico. A proposta de melhorias foi realizada com base em considerações do modelo apresentado por Bortolini (2015) e nas diretrizes propostas por Bulhões (2009) e Santos (2016).

O estudo de caso realizado evidenciou a necessidade da conexão entre os processos de projeto, fabricação e montagem no canteiro de obras, através de decisões nos três níveis de planejamento – longo, médio e curto prazo. A longo prazo, o planejamento de produção contempla a

integração com o projeto, afim de criar definições para a fabricação e procedimentos de montagem. Por sua vez, o planejamento de médio e curto prazo estão baseados na demanda real do canteiro de obras, considerando características do ambiente de construção. Logo, a real demanda do canteiro de obras garante o correto fluxo de materiais entre fábrica e obra, evitando perdas excessivas como estoque e transporte.

A pesquisa ofereceu algumas contribuições no sentido de melhor utilizar a modalidade de contratação RDC para obras públicas, a qual, por viabilizar a integração do projeto do produto e do planejamento da produção, permite a introdução de melhorias da no processo de projeto de engenharia. Por exemplo, a elaboração do detalhamento de projeto do empreendimento concomitante à execução possibilita, conforme visto na pesquisa, a obtenção de características desejáveis para a aplicação da pré-fabricação ao empreendimento. Por sua vez, a pré-fabricação permite a produção em ambiente controlado e padronizado, elevando os índices de qualidade da obra em execução.

A obra estudada é considerada pioneira quando considerado níveis de pré-fabricação, em relação às obras executadas pela empresa X. Desta forma, muitos conceitos ainda estão em estudo pela empresa e procedimentos em constante melhoria. Cabe ressaltar que a coleta de dados foi realizada em etapa inicial do empreendimento e logo após foram tomadas algumas decisões com base em conceitos da Mentalidade Enxuta, que não constaram nesta pesquisa.

Por fim, conclui-se que a adoção de práticas formalizadas nos três níveis de planejamento de produção é fundamental para a integração entre fábrica e obra em sistemas de pré-fabricados, eliminando perdas de produção e contribuindo para a melhor utilização dos recursos disponíveis.

REFERÊNCIAS

- AGAPIOU, A.; CLAUSEN, L. E.; FLANAGAN, R.; NORMAN, G.; NOTMAN, D. The role of logistics in the materials flow control process. **Construction Management & Economics**, v.16, n.2, p.131-137, 1998.
- BALLARD, Glenn; HOWELL, Gregory. Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow. In: **Proceedings...** Santiago: IGLC/1994.
- BALLARD, Glenn; HOWELL, Gregory. What kind of Production is Construction? In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 6., **Proceedings...** Guarujá: IGLC/ UFRGS, 1998.
- BALLARD, Glenn. **The Last Planner System of Production Control**. 2000. Birmingham: Tese de Doutorado (Doctor of Philosophy). School of Civil Engineering., Faculty of Engineering, The University of Birmingham, 2000.
- BERNARDES, M. M. e S. **Planejamento e controle da produção para empresas de construção civil**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- BORTOLINI, R. **Modelo para planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo engineer-to-order com o uso de BIM 4D**. 2015. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- BULHÕES, I. R. **Diretrizes Para Implementação de Fluxo Contínuo na Construção Civil: uma abordagem baseada na Mentalidade Enxuta**. 2009. 339 f. 2009. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- CARDOSO, F. F. Importância dos estudos de preparação e da logística na organização dos sistemas de produção de edifícios: alguns aprendizados a partir da experiência francesa. In: Seminários Internacional Lean Construction, 1996, São Paulo. **Anais...**24f, 1996
- CARDOSO, F. F.; SILVA, F. B. da. Diagnóstico da logística na construção de edifícios. In : Congresso Latino-americano Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios : Soluções para o Terceiro Milênio. São Paulo. **Anais...** EPUSP-PCC, pp 253-260, 1998.
- ČUŠ-BABIČ, N. et al. **Supply-chain transparency within industrialized construction projects**. Computers in Industry, v. 65, n. 2, p. 345–353, 2014.
- FORMOSO, C. T. (Org.) **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
- HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. To Pull or Not to Pull : What Is the Question ? **Manufacturing and Service Operations Management**, v. 6, n. 2, p. 133–148, 2004.

ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T.; CESARE, C. M. DE; HIROTA, E. H.; ALVES, T. da C. L. A. **Lean Construction: Diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil**. Porto Alegre: Sebrae, 2000. Série Construção Civil n.5.

JURKSAITIS, G. J. **Em Defesa do Regime Diferenciado de Contratações**. Sociedade Brasileira de direito público, set. 2011. Disponível em: <http://www.sbdp.org.br/arquivos/material/960_Guilherme_Jardim_Jurksaitis_-_Em_defesa_do_RDC_-_versao_pa..pdf>. Acesso em: 01 mai. 2017.

KOSKELA, Lauri. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. Tese de Doutorado (Doctor of Philosophy) – Technical Research Center of Finland, Espoo, 2000.

KOSKELA, Lauri. **Application of the new production philosophy to construction**. CIFE Technical Report, n. 72: Center for Integrated Facility Engineering, Salford, 1992.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is Construction Planning Really Doing Its Job? A Critical Examination of Focus, Role and Process. **Construction Management and Economics**, n. 5. 1987.

LEI, L. E. I. **Lean lexicon: A graphical glossary for lean thinkers**. 4.0. ed. Cambridge: Lean Summit, 2008.

LEVINE, A.; LUCK, J. **The new management paradigm: A review of principles and practices**. Santa Monica: Rand, 1994.

MATT, Dominik T.; DALLASEGA, Patrick; RAUCH, Erwin. Synchronization of the Manufacturing Process and On-site Installation in ETO Companies. **Procedia CIRP**, v.17, p. 457-462, 2014.

MOREIRA, E. B. **Os Consórcios Empresariais e as Licitações Públicas: Considerações em Torno do Art. 33 da Lei 8.666/93**. Revista Eletrônica de Direito Administrativo Econômico, Bahia, ago/set/out. 2005. Disponível em: <<http://www.direitodoestado.com/revista/REDAE-3-AGOSTO-2005-EGON%20BOCKMANN.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2017.

NAKAMURA, J. **Pontes pré-moldadas**. 2012. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/20/artigo271660-1.aspx>>. Acesso em: 05 mai 2017.

OHNO, T. **Toyota Production System**. Cambridge (Massachusetts) and Norwalk (Connecticut): Productivity Press, 1988.

O'LAUGHLIN, K. A.; COPACINO, W. C. **Logistics strategy. The logistics handbook**. Editores: J. F. Robenson & William C. Copacino. New York, The Free Press, p. 57-75, 1994.

RAUCH, E.; DALLASEGA, P.; MATT, D. T. Synchronization of Engineering, Manufacturing and on-site Installation in Lean ETO-Enterprises. **Procedia CIRP**, v. 37, p. 128–133, 2015.

REVEL, M. **La prefabricación en la construcción**. 1 ed. Bilbao: Urmo, 1973.

ROTHER, M.; HARRIS, R. Criando o fluxo contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. 1 ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

RUSHTON, A.; CROUCHER, P.; BAKER, P. **The handbook of logistics & distribution management**. 4th ed. Reino Unido: Kigan Page Limited, 2010.

SANTOS, G. T. DOS. **Diretrizes para a Gestão Logística em Empresas Engineer - to - Order de Pré - Fabricados na Construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016

SERRA, S; OLIVEIRA, O. Development of the logistics plans in building construction. In: Second International Conference on Structural and Construction Engineering, Roma, 2003. **Proceedings...** p. 75-80, Roma, 2003.

SIKKA, S.; DAWOOD, N.; MARASINI, R. **An Integration of Construction Site Logistics & Associated Vehicle Movements**. p. 1062–1069, 2006.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON R.; **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TOLEDO JUNIOR, I. B. de. **Lay-out: arranjo físico**. 8. Ed. Mogi das Cruzes: O&M Itys Fides, 2004.

TOMMELEIN, I. D. **Pull-driven Scheduling for Pipe-spool Installation**: Simulation of a Lean Construction Technique. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 124, n. 4, p. 279–288, 1998.

TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A.; BOZER, Y. A.; TANCHOCO, J. M. A. **Facilities Planning**. New Jersey: Jowhn Wiley & Sons, 2010.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 5. ed. Thousand Oaks, California: SAGE Publications, 2015.

VALEC. **Norte-Sul Usa Alta Tecnologia na Fabricação de Pontes**. 2012. Disponível em: <<http://www.valec.gov.br/noticias/Noticia070213>>. Acesso em: 29 abr 2017.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Traduzido por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2002.

VASCONCELOS, V. **Margem esquerda do Madeira passa a ser área urbana de Porto Velho**. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2012/09/margem-esquerda-do-madeira-passa-ser-area-urbana-de-porto-velho.html>>. Acesso em: 03 mai 2017.

VIANA, D. D. **An Integrated Production Planning and Control Model for Engineer-to-order prefabricated building systems**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola

de Engenharia, Porto Alegre - Rio Grande do Sul: Tese (Doutorado em Engenharia Civil), 2015

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A máquina que mudou o mundo**. Gulf Professional Publishing, 1992.