

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

João Pedro Marins Treviso

**CONCRETO PRÉ-FABRICADO: ANÁLISE DE PRÁTICAS
ADOTADAS NO PROCESSO EXECUTIVO DE ESTRUTURA
DE GRANDE PORTE**

Porto Alegre
janeiro 2013

JOÃO PEDRO MARINS TREVISO

**CONCRETO PRÉ-FABRICADO: ANÁLISE DE PRÁTICAS
ADOTADAS NO PROCESSO EXECUTIVO DE ESTRUTURA
DE GRANDE PORTE**

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: Ruy Alberto Cremonini

Porto Alegre
janeiro 2013

JOÃO PEDRO MARINS TREVISO

**CONCRETO PRÉ-FABRICADO: ANÁLISE DE PRÁTICAS
ADOTADAS NO PROCESSO EXECUTIVO DE ESTRUTURA
DE GRANDE PORTE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 11 de janeiro de 2013

Prof. Ruy Alberto Cremonini
Dr. pela EPUSP
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Engº Nei Ricardo Vaske
Dr. pela UFRGS

Prof. Eduardo Luis Isatto (UFRGS)
Dr. pela UFRGS

Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)
Dr. pela EPUSP

Dedico este trabalho aos meus pais,
Pedro e Aglahy, e à minha irmã, Karenine,
que sempre me apoiaram, especialmente
no período do meu Curso de Graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Carin Maria Schmitt, coordenadora do Trabalho de Diplomação, pelo interesse, dedicação e auxílio prestados a mim e aos meus colegas, durante este ano de trabalho intenso.

Agradeço ao professor Ruy Alberto Cremonini, orientador deste trabalho, pelo auxílio prestado, colaborando com dicas, conselhos e informações.

Agradeço aos meus pais, minha irmã e demais familiares pelo apoio e incentivo concedidos neste período.

Agradeço a todos os colegas pelo companheirismo e amizade demonstrados durante o período de graduação.

Agradeço à construtora responsável pela obra, que permitiu a realização deste trabalho.

I hope you live a life you're proud of.

F. Scott Fitzgerald

RESUMO

A escassez de mão de obra e de materiais e a disponibilidade de prazos mais enxutos para a realização de obras compõem o cenário atual da construção civil brasileira. Nesse contexto, é comum a busca, pelas empresas do setor, por métodos de racionalização da produção e aumento de produtividade, destacando-se, para estas finalidades, a escolha por estruturas pré-fabricadas de concreto. Atualmente, este uso está associado também a estádios de futebol, dentro do processo de construção e modernização de espaços esportivos no País. O presente trabalho tem como estudo de caso a aplicação de pré-fabricados à estrutura de uma arena multiuso, na cidade de Porto Alegre. A otimização do processo de montagem das lajes e vigas pré-fabricadas tornou-se necessária como forma de garantir a entrega da obra na data planejada e, desta forma, cumprir o compromisso estabelecido com o cliente do empreendimento. Como interferências identificadas à montagem da estrutura, podem-se destacar fatores inerentes ao contexto, como a variedade dos elementos pré-fabricados previstos pelo projeto e a baixo grau de instrução dos operários envolvidos, ou ainda aspectos referentes à cadeia produtiva, como a quantidade e a ordem de fabricação dos componentes, e sua organização em estoques no canteiro de obras, incluindo-se controle, *layout*, busca e localização. Como consequências, verificou-se, no canteiro de obras estudado, desperdício de tempo nos processos de localização dos pré-fabricados, necessidade de substituição de peças montadas fora de seu correto posicionamento na estrutura, necessidade de adaptações geométricas em lajes alveolares (chanfros e cortes) e replanejamento das etapas subsequentes à montagem. A partir disso, foram apresentadas as medidas implementadas para combater as interferências identificadas: realização de inventários das peças em estoque, concentração do estoque em uma área central, setorizados conforme a aplicação à estrutura, interferências, por parte da construtora, na programação de fabricação e expedição das peças, identificação visual das peças no canteiro e implementação de um estoque intermediário, anexo à obra. Com isso, foi possível verificar que, dentre aquelas apresentadas, a medida implementada que proporcionou melhor desempenho de produtividade foi a identificação visual das peças, seguida da implementação do estoque anexo.

Palavras-chave: Construção de Estádios Esportivos. Interferências ao Processo Executivo de Edificações. Logística e Organização de Canteiros de Obras.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Identificação das etapas do projeto de pesquisa	18
Figura 2 – Comparativo de atividades	25
Figura 3 – Elementos pré-fabricados de uso comum	27
Figura 4 – Sistema modular para estruturas pré-fabricadas	28
Figura 5– Posição dos cabos nas lajes de 20 cm de espessura	30
Figura 6 – Processo executivo de lajes alveolares: (a) preparação da pista; (b) concretagem e (c) corte e desfôrma	31
Figura 7 – Arquibancada pré-fabricada: degrau e viga jacaré	33
Figura 8 – Estrutura: Estádio Olímpico João Havelange	34
Figura 9 – Funções básicas de um sistema de produção	35
Figura 10 – A função produção	35
Figura 11 – Hierarquia das funções da programação da produção	39
Figura 12 – Visão geral das atividades do PCP	40
Figura 13 – Localização do empreendimento, em Porto Alegre	49
Figura 14 – Implantação do empreendimento	50
Figura 15 – Vista interna do estádio	52
Figura 16 – Setorização horizontal da obra	53
Figura 17 – Corte esquemático: setorização vertical da obra	55
Figura 18 – Corte esquemático (oeste) e identificação dos elementos estruturais	56
Figura 19 – Distância entre a fábrica e o canteiro de obras	58
Figura 20 – Grua operando na parte externa da estrutura	59
Figura 21 – Guindaste em operação (centro)	60
Figura 22 – Locação e raio de ação das guias	60
Figura 23 – <i>Layout</i> do canteiro de obras	61
Figura 24 – Montagem da cobertura	62
Figura 25 – Etapas subsequentes à montagem	63
Figura 26– Modulação das lajes alveolares do setor nordeste	64
Figura 27 – Denominação das vigas	65
Figura 28 – Histograma de fabricação de lajes	66
Figura 29 – Histograma de fabricação de vigas	66
Figura 30 – Quantidade de peças em estoque, por mês	67
Figura 31 – Pavimento em espera para conclusão	69
Figura 32 – Resíduos de corte de lajes	70

Figura 33 – Cronograma de atividades	72
Figura 34 – Execução de escadas moldadas <i>in loco</i>	72
Figura 35 – Relação problemas-consequências	73
Figura 36 – Fluxograma do processo de montagem: cenário inicial	75
Figura 37 – Áreas para recebimento e estoque de pré-fabricados	75
Figura 38 – Detalhe: área 1	76
Figura 39 – Detalhe: área 3	76
Figura 40 – Organograma da obra estudada	77
Figura 41 – Organização de estoques (centro do campo)	79
Figura 42 – Fluxograma do estoque central setorizado	80
Figura 43– Ordem de aplicação dos pré-fabricados à estrutura	82
Figura 44 – Fluxograma da sinergia fábrica/obra	82
Figura 45 – Identificação dos pré-fabricados	84
Figura 46 – Fluxograma da identificação visual de peças	85
Figura 47 – Identificação dos pilares da linha C	86
Figura 48 – Novo <i>layout</i> do canteiro de obras	87
Figura 49 – Fluxograma do estoque anexo ao canteiro de obras	88
Figura 50 – Carregamento de peças via caminhão Munck	88
Figura 51 – Aplicação de duas peças simultaneamente	89
Figura 52 – <i>Timeline</i> : cenários de montagem	91
Figura 53 – Total global de peças montadas, por mês	93
Figura 54 – Total de vigas e lajes montadas, por mês	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Planejamento realizado pelo PCP	37
Quadro 2 – Método 5W2H	47
Quadro 3 – Listagem de equipamentos disponíveis	59
Quadro 4 – Apropriação de campo	68
Quadro 5 – Relação de peças substituídas	71
Quadro 6 – 5W2H para inventários	78
Quadro 7 – 5W2H para o estoque setorizado	79
Quadro 8 – 5W2H para a sinergia fábrica/obra	83
Quadro 9 – Código de cores	83
Quadro 10 – 5W2H para a identificação visual de peças	86
Quadro 11 – 5W2H para o estoque anexo ao canteiro	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área do terreno	50
Tabela 2 – Cálculo de áreas e capacidade	51
Tabela 3 – Quantitativo de peças pré-fabricadas	58
Tabela 4 – Quantitativo de lajes (un)	64
Tabela 5 – Modelo de planilha utilizada para registro dos dados coletados	90
Tabela 6 – Quantidade global de peças montadas, por mês	92
Tabela 7 – Quantidade de vigas e lajes montadas, por mês	94
Tabela 8 – <i>Ranking</i> de produtividade	95

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	16
2.2.1 Objetivo principal	16
2.2.2 Objetivos secundários	16
2.3 PRESSUPOSTOS	17
2.4 DELIMITAÇÕES	17
2.5 LIMITAÇÕES	17
2.6 DELINEAMENTO	17
3 PRÉ-FABRICADOS: CONSIDERAÇÕES GERAIS	20
3.1 DEFINIÇÕES	21
3.1.1 Industrialização da construção	21
3.1.2 Pré-fabricação	22
3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS	23
3.2.1 Vantagens	23
3.2.1.1 Fabricação controlada	23
3.2.1.2 Redução dos prazos de execução	24
3.2.1.3 Economia de mão de obra	25
3.2.2 Desvantagens	26
3.3 PEÇAS PRÉ-FABRICADAS	26
3.3.1 Projeto	27
3.3.1.1 Projeto arquitetônico	27
3.3.1.2 Projeto estrutural	29
3.3.2 Execução, transporte e montagem	30
3.4 APLICAÇÃO EM COMPLEXOS ESPORTIVOS	32
4 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	35
4.1 CONCEITO	36
4.2 NÍVEIS HIERÁRQUICOS	37
4.2.1 Nível estratégico	38
4.2.2 Nível tático	38
4.2.3 Nível operacional	38
4.3 ESTOQUES	40

4.3.1 Localização de materiais	41
4.3.2 Classificação e codificação de peças	42
4.3.3 Inventários	42
4.4 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO APLICADA À PRÉ-FABRICAÇÃO	42
4.4.1 Programação de fabricação	43
4.4.2 Programação de expedição	43
4.4.3 Programação de montagem	43
4.5 OUTRAS TÉCNICAS APLICADAS À PRODUÇÃO	45
5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	48
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA ESTUDADA	48
5.1.1 Setorização da obra	52
5.1.1.1 Setorização horizontal	54
5.1.1.2 Setorização vertical	54
5.1.3 Estrutura	55
5.1.3.1 Sistema construtivo	55
5.1.3.2 Tipo de estrutura	56
5.1.3.3 <i>Layout</i> e modulação	56
5.1.3.4 Produção	57
5.1.4 <i>Layout</i> do canteiro de obras	60
5.2 IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS E CONSEQUÊNCIAS	61
5.2.1 Problemas	63
5.2.1.1 Variedade	63
5.2.1.2 Identificação	64
5.2.1.3 Fabricação	65
5.2.1.4 Estoque	66
5.2.1.4 Movimento	67
5.2.1.5 Qualificação profissional	67
5.2.2 Consequências	68
5.2.2.1 Desperdício de tempo	69
5.2.2.2 Espera	69
5.2.2.3 Retrabalho	69
5.2.2.4 Excesso de processamento	70
5.2.2.5 Aumento de custos	71
5.2.2.6 Replanejamento das atividades	71
5.3 DESCRIÇÃO DAS MEDIDAS IMPLEMENTADAS	73

5.3.1 Inventários	77
5.3.2 Estoque central setorizado	78
5.3.3 Sinergia fábrica/obra	80
5.3.4 Identificação visual de peças	83
5.3.5 Estoque anexo ao canteiro de obras	86
5.4 COLETA DE DADOS	89
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	91
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO

A partir da segunda metade da década de 2000, a indústria da construção civil se consolidou como uma das principais atividades econômicas no Brasil. Seu forte crescimento está associado a incentivos governamentais para habitação e infraestrutura urbana, como o programa Minha Casa, Minha Vida e o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Recentemente, a confirmação do País como sede da Copa do Mundo de 2014 e dos Jogos Olímpicos de 2016, fez com que fossem realizados ainda mais investimentos no setor.

Um volume tão grande de obras em andamento acabou por evidenciar certos problemas correntes na construção civil: escassez de mão de obra e de materiais, baixas produtividade e qualidade dos serviços. Assim, a fim de atender à crescente demanda, as construtoras têm buscado soluções em práticas até então pouco exploradas. Nesse sentido, a principal mudança tem sido a introdução de técnicas de industrialização da produção ao processo executivo de obras civis e edificações. Conforme Tamaki (2010, p. 38), “Essa tendência [...] caracteriza-se pela preferência por sistemas de montagem aos processos artesanais; uso intensivo de máquinas e equipamentos; [...] uso de materiais pré-prontos e, principalmente, uma nova abordagem no planejamento das obras.”.

Nesse contexto, uma alternativa que se adéqua a estas exigências são as estruturas de concreto pré-fabricado. Basicamente, este método construtivo caracteriza-se por moldar previamente os elementos estruturais de concreto, fora ou dentro do canteiro de obras, e, posteriormente, montá-los em suas posições definitivas, conforme projeto de modulação e sequência de montagem. Segundo El Debs (2000), este método é amplamente utilizado em edificações, pontes, túneis, muros de arrimo e reservatórios, além de estar associada à construção de estádios.

No entanto, seu uso em obras complexas requer alguns cuidados. Nesse aspecto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as práticas realizadas na execução de uma estrutura de grande porte formada por elementos pré-fabricados de concreto. A obra apresenta uma série de características que impõem adversidades a todo o processo construtivo: 110.000 m² de área construída; 17 mil peças pré-fabricadas, apresentando elevada diversificação; ausência de elementos de grande repetitividade; reduzido espaço para estoques e curto prazo de execução.

Assim, pretende-se, neste trabalho, apresentar os resultados de produtividade obtidos a partir de medidas implementadas para solucionar as interferências existentes até então, abrangendo itens como organização do canteiro, identificação visual de peças e interface entre linha de produção e de montagem.

O estudo em análise refere-se à execução da estrutura de um estádio de futebol, construído na cidade de Porto Alegre, utilizando-se dados, informações e registros coletados diretamente na obra. Em função da grande quantidade de serviços dependentes à finalização do processo de montagem dos pré-fabricados, tais como instalações, acabamentos e estrutura metálica da cobertura, este se tornou um dos pontos-chave dentro do planejamento da obra.

Após a introdução, o segundo capítulo deste trabalho aborda as diretrizes da pesquisa, como questão de pesquisa, objetivos, pressupostos, delimitações, limitações e delineamento. O terceiro capítulo refere-se às características gerais dos elementos pré-fabricados de concreto, apresentando definições, vantagens, desvantagens e aplicações a complexos esportivos. O quarto capítulo aborda o planejamento e controle da produção (PCP), destacando conceitos básicos, organização de estoques e programação da produção. No quinto capítulo, primeiramente é realizada a apresentação da obra em análise, com suas características e peculiaridades. Posteriormente, são descritos os problemas recorrentes à aplicação de pré-fabricados à estrutura e as medidas implementadas para amenizá-los. No sexto capítulo, são apresentados os efeitos destas medidas à produtividade de montagem, através de indicadores de controle de produção. Por fim, no sétimo capítulo são realizadas as considerações finais sobre o trabalho.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: solucionados os problemas que interferiam na aplicação de pré-fabricados no canteiro de obras estudado, quais as intervenções que resultaram em efetivo aumento de produtividade?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

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

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação da eficácia das intervenções realizadas na aplicação de pré-fabricados no canteiro de obras estudado através da análise da produtividade de montagem, tomando-se como estudo uma obra em Porto Alegre.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) descrição do sistema construtivo de pré-fabricados observado no canteiro de obras estudado;
- b) identificação das interferências existentes à aplicação de pré-fabricados no canteiro de obras estudado e soluções propostas para amenizar seus efeitos.

2.3 PRESSUPOSTOS

O trabalho tem por pressuposto que o quantitativo de mão de obra e a quantidade de máquinas e equipamentos empregados no processo de montagem dos pré-fabricados mantiveram-se constante ao longo do período analisado e que todas as peças pré-fabricadas possuem o mesmo tamanho.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a um estádio de futebol padrão FIFA (*Fédération Internationale de Football Association*), com capacidade para 60 mil espectadores, constituído por elementos pré-fabricados de concreto, localizado na cidade de Porto Alegre.

2.5 LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho são:

- a) descrição do sistema de concreto pré-fabricado com métodos, componentes e ferramentas aplicados no canteiro de obras estudado;
- b) os elementos pré-fabricados analisados são lajes alveolares e vigas protendidas;
- c) a avaliação da eficácia das medidas implementadas da-se apenas através da análise de sua produtividade, medida pela quantidade de peças montadas por mês;
- d) a variável de estudo é somente a avaliação da produtividade;
- e) o autor deste trabalho atua como estagiário na obra estudada, não sendo um mero observador do processo.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) caracterização da obra estudada;
- c) identificação dos problemas ocorridos na obra estudada e suas consequências;
- d) descrição das medidas implementadas no canteiro de obras estudado;
- e) coleta de dados em obra referentes ao controle da montagem de pré-fabricados;
- f) análise e comparação dos dados coletados;

g) considerações finais.

A figura 1 apresenta esquematicamente estas etapas, que são descritas nos parágrafos seguintes.



(fonte: elaborado pelo autor)

A pesquisa bibliográfica consistiu no embasamento teórico para a realização deste trabalho, através da busca de informações e conteúdo em livros, revistas, manuais técnicos e catálogos de fabricantes. Em sua primeira parte, foi aprofundado o conhecimento referente a elementos pré-fabricados de concreto, tais como definições, vantagens e aplicações. Na segunda parte, foram abordados os princípios gerais referentes ao planejamento e controle da produção, tendo foco em sua parte operacional.

Na caracterização da obra estudada, foi apresentado o empreendimento em análise, através de projetos, dados referentes à estrutura e à obra, organização básica do canteiro de obras e listagem geral de equipamentos disponíveis. A seguir, foram descritos os problemas mais comuns ocorridos no canteiro de obras estudado, referentes à sua organização e à aplicação dos pré-fabricados. A partir disso, foram apresentadas as possíveis causas desses problemas e

as consequências geradas para a obra. Após esta etapa, foram descritas as medidas implementadas para solucionar os problemas apresentados, como intervenções na relação entre a obra e a fábrica, organização do estoque, *layout* do canteiro de obras e identificação visual de peças. A partir das ferramentas de planejamento e controle da produção existentes na obra estudada, foi possível compor a base de análise das medidas implementadas, através de planilhas de controle e gráficos de produtividade.

Na parte final do trabalho, foram comparados os dados obtidos, analisando-se quais medidas proporcionaram efetivo aumento de produtividade, ou seja, a consolidação do objetivo deste trabalho. Por fim, foram realizadas as considerações finais, nas quais puderam ser apontados pontos positivos e negativos do processo em estudo.

3 PRÉ-FABRICADOS: CONSIDERAÇÕES GERAIS

Segundo El Debs (2000, p. 3), “A construção civil tem sido considerada uma indústria atrasada quando comparada a outros ramos industriais. A razão disso está no fato de ela apresentar, de uma maneira geral, baixa produtividade, grande desperdício de materiais, [...] e baixo controle de qualidade.”.

No entanto, conforme Pigozzo et alli (2005, p. [2]), a industrialização da construção civil promoveu, no Brasil e no mundo, um salto de qualidade nos canteiros de obras, tornando as obras mais ágeis e organizadas. Para isto, houve a busca por componentes industrializados com alto controle de produção, materiais e fornecedores selecionados e mão de obra treinada e qualificada.

Nesse contexto, é crescente o emprego de elementos pré-fabricados, havendo destaque para os de concreto. Para Koncz (c1968, p. 12, tradução nossa), o uso da pré-fabricação é viável em todos os setores da construção: obras industriais, edificações em geral e obras subterrâneas.

Sayegh (2011, p. 78) indica que o uso de estruturas pré-fabricadas de concreto representa uma redução de 35% no tempo de execução de obras, quando comparadas com aquelas executadas com concreto moldado *in loco*. O autor ainda associa a pré-fabricação a conceitos como padronização, racionalização e repetição de elementos.

A evolução tecnológica também é apontada por Sayegh (2011, p. 79) como aspecto de grande relevância, já que é frequente a produção de peças pré-fabricadas em concreto auto-adensável ou de alta resistência, enquanto que a montagem em obra pode exigir o emprego de equipamentos de grande porte. Sob esta ótica, El Debs (2000, p. 3) considera que a utilização de pré-fabricados é proporcional ao grau de desenvolvimento tecnológico e social do país, uma vez que, quando estes fatores estão em alta, há maior oferta de equipamentos, qualificação da mão de obra e elevado grau de exigência na qualidade dos produtos.

Assim, neste capítulo, são abordados os principais conceitos referentes ao concreto pré-fabricado, como forma de se obter um embasamento teórico conveniente com o trabalho proposto. Portanto, primeiramente, são apresentadas as definições de concreto pré-fabricado e

industrialização da construção, com base nos principais autores destes temas. O item seguinte aborda as vantagens e desvantagens proporcionadas pelo uso da pré-fabricação, quando comparada com o modelo de moldagem *in loco*. O capítulo ainda apresenta as peças pré-fabricadas mais utilizadas na construção civil, dando ênfase para vigas e lajes, e o panorama geral da construção de complexos esportivos que envolvem a utilização de itens pré-fabricados.

3.1 DEFINIÇÕES

É frequente a associação, por diversos autores, da pré-fabricação ao processo de industrialização da construção. Como exemplo, toma-se a apresentação exposta por Pigozzo et alli (2005, p. [2]), ao indicarem que “O sistema pré-fabricado se identifica, primeiramente, com a história da industrialização, que, por sua vez, está relacionada com o período histórico da mecanização, ou seja, com a evolução das ferramentas e máquinas para produção de bens.”. Assim, a seguir, são apresentadas ambas as definições.

3.1.1 Industrialização da construção

A industrialização da construção está inserida no processo de racionalização do trabalho. Segundo Koncz (1977, p. 9, tradução nossa), significa o melhor aproveitamento das condições técnicas existentes e, com isso, produzir edificações com baixa quantidade de mão de obra, custo razoável e que satisfaça a todas as demandas dos seus usuários.

Conforme Birulés (1968, p. 3, tradução nossa):

A industrialização da construção surge como uma consequência imediata da racionalização do trabalho e da mecanização das operações. A construção artesanal é possível quando existe abundante mão de obra especializada a um custo relativamente baixo. Quando a demanda por mão de obra supera a oferta, os custos aumentam e se acusa imediatamente a necessidade de aumentar a produtividade, o qual se consegue organizando as condições de trabalho e diminuindo os gastos inúteis, ou seja, racionalizando o trabalho.

Quanto à mecanização, Birulés (1968, p. 4, tradução nossa) indica que a sua inserção nas atividades da construção civil é necessária a fim de se racionalizar os processos envolvidos e automatizar o transporte de materiais, fatores que podem levar a uma maior produtividade. Para Vilagut (1975, p. 632, tradução nossa), a inserção de máquinas e equipamentos de

elevação mecânica torna-se fundamental, pois as peças pré-fabricadas têm se tornado cada vez maiores e mais pesadas.

Conforme Pigozzo et alli (2005, p. [2]):

Atualmente, o desenvolvimento dos automatismos industriais de sistemas pré-fabricados está ligado não só aos processos de fabricação, mas também aos processos de transporte, montagem, métodos de inspeção e controle, à criação de novos materiais e ao controle das consequências desses processos ao meio ambiente.

3.1.2 Pré-fabricação

A definição de pré-fabricação pode, comumente, ser confundida com a de pré-moldagem. Em razão disso, pode ser tomada como parâmetro a definição apresentada pela NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 34-35), que distingue os conceitos de pré-fabricado e pré-moldado, a partir do controle de qualidade da produção:

- a) **elemento pré-fabricado:** é produzido fora de sua posição definitiva na estrutura, sob rígido controle de qualidade, em instalações de trabalho permanentes e com pessoal e laboratório especializados para esta finalidade;
- b) **elemento pré-moldado:** é produzido fora de sua posição definitiva na estrutura, sob controle de qualidade menos rigoroso, em instalações de trabalho provisórias e sem a necessidade de pessoal e laboratório próprios do fabricante.

El Debs (2000, p. 15, grifo do autor) apresenta uma definição semelhante, ao considerar os tipos de concreto pré-moldado:

- a) o **pré-moldado de fábrica** é aquele executado em instalações permanentes distantes da obra. Esse tipo de pré-moldado pode ou não atingir o nível de pré-fabricado, segundo o critério da NBR 9062. A capacidade de produção da fábrica e a produtividade do processo dependem principalmente dos investimentos em fôrma e equipamentos, podem ser pequenas ou grandes, com tendência maior ao último caso;
- b) [...] o **pré-moldado de canteiro** é executado em instalações temporárias nas proximidades da obra. Essas instalações podem ser mais ou menos sofisticadas, dependendo da produção e da produtividade que se deseja. Em geral, há certa propensão a ter baixa capacidade de produção, e conseqüentemente, pequena produtividade.

Pelo fato de as estruturas analisadas neste trabalho apresentarem características de fabricação com alto controle de qualidade, dentro dos parâmetros normalizados, é utilizada a denominação de **concreto pré-fabricado** ao longo do texto.

A partir disso, é possível aprofundar os estudos referentes à definição de pré-fabricação. Conforme Koncz (c1968, p. 12, tradução nossa):

A pré-fabricação é um método industrial de construção em que elementos fabricados em grandes séries pelos métodos de produção em massa são montados em obra, através de equipamentos e dispositivos elevadores. A construção se efetua em duas etapas: fabricação dos elementos em fábrica e montagem dos mesmos em obra.

Ao longo do processo de execução de peças pré-fabricadas, as intervenções humanas devem ser as mínimas possíveis. Conforme Vilagut (1975, p. 628-629, tradução nossa), a mão de obra empregada deve fazer poucos reparos nos itens produzidos, para que vantagens como rapidez de produção e repetitividade estejam asseguradas.

Koncz (c1968, p. 13, tradução nossa) indica que os elementos construtivos de concreto podem ser moldados tanto em fábrica quanto no próprio canteiro. No entanto, ressalta que “[...] quando se fabrica ao pé da obra (nas chamadas fábricas móveis), as séries [de produção] são menores e os elementos são maiores, pois não se encontram dificuldades para transportá-los.”. Para a execução em fábrica, deve haver a produção em série. Porém, ficam limitados o tamanho e o peso dos componentes, já que, posteriormente, devem ser transportados.

3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A pré-fabricação apresenta uma série de vantagens, assim como desvantagens, quando comparada com o método tradicional de moldagem *in loco*. Assim, nos próximos itens, são aprofundados os estudos a respeito destas características.

3.2.1 Vantagens

Dentre as inúmeras vantagens atribuídas ao uso de elementos pré-fabricados de concreto, pode-se destacar a fabricação controlada das peças, a redução dos prazos de execução das obras e a economia da mão de obra empregada no processo. Nos próximos itens, são aprofundados os estudos referentes a estes benefícios.

3.2.1.1 Fabricação controlada

Segundo Van Acker (2002, p. 2), “A produção numa fábrica possibilita processos de produção mais eficientes e racionais, trabalhadores especializados, repetição de tarefas,

controle de qualidade, etc.”. Portanto, a possibilidade da inserção da automação ao sistema produtivo e o desenvolvimento de novas tecnologias pode vir a contribuir significativamente a este processo.

Um dos principais aspectos neste quesito é o fato de, em geral, não haver interferência na produção em função das condições climáticas e das estações do ano. Até mesmo os materiais empregados na produção do concreto são beneficiados, já que, ao permanecerem ao abrigo do sol e da chuva, podem se manter estocados por vários meses (REVEL, 1973, p. 25, tradução nossa).

3.2.1.2 Redução dos prazos de execução

Segundo Casado (1968, p. 258, tradução nossa), o uso de pré-fabricados permite “[...] importante redução no prazo de execução da obra, o que, por sua vez, resulta em economia total da operação financeira.”. Revel (1973, p. 63, tradução nossa) também afirma que há redução no prazo de execução das obras e atribui tal situação a três fatores principais:

- a) simultaneidade de várias fases da construção;
- b) supressão dos prazos de desfôrma;
- c) trabalho em solo.

Em relação à simultaneidade de atividades, Revel (1973, p. 63, tradução nossa) destaca que:

Na construção tradicional de concreto armado, as operações são necessariamente sucessivas. [...] todas as durações destas atividades [fôrmas, armaduras e concretagem] são sucessivas e se somam umas às outras e a soma total é que marca a duração da obra. A pré-fabricação apresenta a vantagem de poder realizar várias fases simultaneamente [figura 2].

Outro fator destacado por Revel (1973, p. 65, tradução nossa) é a possibilidade de “[...] fabricar os elementos por antecipação, de forma que estejam em condições de emprego no momento em que a fase anterior, se não terminada, esteja pelo menos em uma etapa de avanço que permita começar esta nova fase.”.

A supressão dos processos de desfôrma também deve ser destacada. De acordo com Revel (1973, p. 71, tradução nossa), quando se utilizam elementos pré-fabricados para compor uma estrutura, os inconvenientes gerados por fôrmas e escoramentos não se aplicam, já que as peças estão disponíveis para montagem imediatamente após o processo de cura.

Figura 2 – Comparativo de atividades

Mês	0	1	2	3	4
Método tradicional					
Andaimes		■	■		
Fôrmas		■	■		
Armaduras			■	■	
Concretagem			■	■	
Desfôrma				■	■
Acabamentos					■
Pré-fabricados					
Instalação da fábrica	■				
Pré-fabricação		■			
Montagem		■	■		
Acabamentos			■		

(fonte: adaptado de REVEL, 1973, tradução nossa)

Segundo Revel (1973, p. 72, tradução nossa), “Uma das vantagens essenciais da pré-fabricação é a de realizar trabalho em solo, sem andaimes ou cimbramentos. Ainda, não há necessidade de se prever passarelas de serviço para execução de fôrmas, armaduras e concreto.”. Outro ponto destacado pelo mesmo autor é que o trabalho é feito em série, repetindo-se os mesmos movimentos durante a jornada, o que pode significar aumento de produtividade.

3.2.1.3 Economia de mão de obra

Para Revel (1973, p. 76, tradução nossa), a economia de mão de obra em construções pré-fabricadas se dá, primeiramente, por não haver serviços de desfôrma e cimbramento. Além disso, considera que, devido ao trabalho nas instalações fixas de fábrica, outras vantagens podem ser contempladas:

- a) os tempos ociosos dos operários se reduzem muito pela sucessão contínua de operações idênticas; é a vantagem do trabalho em cadeia;
- b) a perfeição dos moldes permite desfôrmas imediatas, [...] com a utilização de um material adequado, normalizado e bem adaptado, e por isto permite obter rendimento máximo de um pessoal treinado;
- c) os tempos ociosos se reduzem igualmente pela facilidade com que o mesmo pessoal passa de uma fabricação a outra sem permanecer desocupado durante o prazo de desfôrma [...];

- d) há o emprego de máquinas de elevação e transporte projetadas para o trabalho em série, o que é impossível no trabalho tradicional;
- e) as operações de transporte na fabricação se reduzem ao mínimo pela adequada disposição em planta dos postos de fabricação.

3.2.2 Desvantagens

Quanto às desvantagens do uso da pré-fabricação, El Debs (2000, p. 27) considera que “As características que desfavorecem sua utilização, são aquelas decorrentes da colocação dos elementos nos locais definidos de utilização e da necessidade de prover a ligação entre os vários elementos que compõem a estrutura.”. Em relação à colocação, indica que estes inconvenientes estão relacionados aos custos e às limitações de transporte e montagem dos elementos.

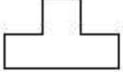
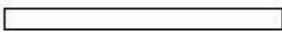
Revel (1973, p. 12, tradução nossa) acrescenta como inconvenientes da pré-fabricação:

- a) acoplamento delicado dos elementos entre si e com o restante da construção. Colocação custosa;
- b) necessidade de material de transporte e elevação que limitam o peso dos elementos pré-fabricados;
- c) maior importância ao estudo e preparação das atividades e necessidade de prever, com precisão, o tempo de montagem.

3.3 PEÇAS PRÉ-FABRICADAS

Inúmeros são os elementos em concreto pré-fabricado empregados atualmente no Brasil. De maneira geral, é possível tomar como exemplo os itens apresentados por El Debs (2000, p. 5), ilustrados na figura 3. No entanto, neste estudo, são apresentados com maior detalhamento os aspectos técnicos referentes às lajes alveolares e às vigas protendidas, por se tratarem de elementos-chave na obra estudada.

Figura 3 – Elementos pré-fabricados de uso comum

Lajes e paredes	Vigas e pilares
 painel alveolar	 seção retangular
 painel TT	 seção I
 painel U	 seção T invertido
 painel maciço	 seção quadrada vazada

(fonte: EL DEBS, 2000)

3.3.1 Projeto

A produção das peças pré-fabricadas e, conseqüentemente, seu menor custo, está associada a aspectos como padronização dos elementos e racionalização do projeto. Nesse sentido, pode ser mantido o caráter de produção em série, intrínseco à pré-fabricação, como forma de se buscar a industrialização da produção e a mecanização dos processos executivos.

3.3.1.1 Projeto arquitetônico

Segundo Van Acker (2002, p. 73):

Os elementos de lajes alveolares protendidas possuem alvéolos (vazios) longitudinais com a intenção principal de reduzir o peso próprio. As lajes alveolares são principalmente utilizadas em construções com grandes vãos, como escritórios, hospitais, escolas, *shopping centers*, prédios industriais, etc. Outro uso frequente é para construção de apartamentos e residências, por condições favoráveis no custo e na rapidez da execução.

Em função do seu caráter industrial de produção em série, deve-se maximizar a repetição das lajes alveolares. Esta condição prevê baixo número de homens-hora envolvidos na produção e intervenções mínimas para recortes e reforços dos alvéolos da laje. Assim, ganha importância o critério **paginação de lajes**, cuja principal ferramenta é a coordenação modular (MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS LTDA., 2007, p. 245).

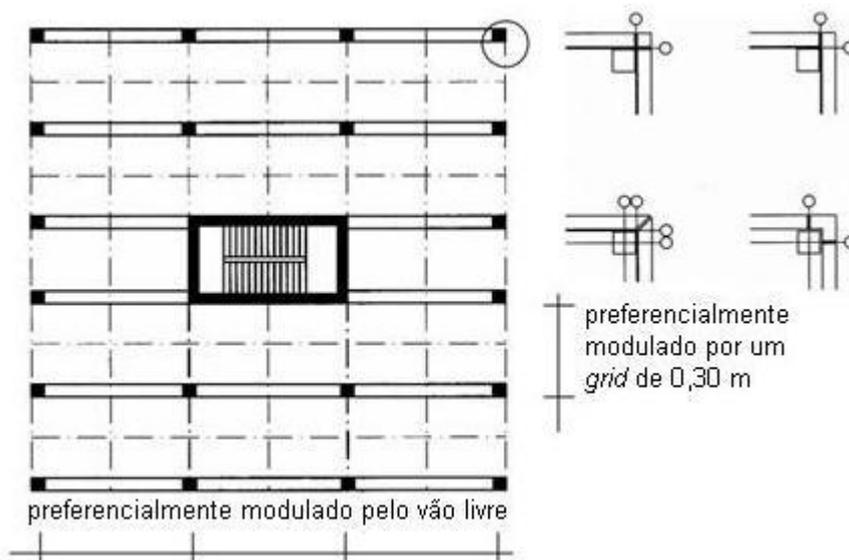
Conforme a NBR 15873 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 1) a coordenação modular está associada à **coordenação dimensional**, que é definida como “Interrelação de medidas de elementos e componentes construtivos e das edificações que os incorporam, usada para seu projeto, sua fabricação e sua montagem.”. A partir disso, tem-se a definição de **coordenação modular**: “Coordenação dimensional mediante o emprego do módulo básico ou de um multimódulo.”.

O módulo, segundo Koncz (c1968, p. 22, tradução nossa):

É um máximo divisor comum a partir do qual podem ser deduzidas todas as medidas da construção por adição ou multiplicação. Quando todas as dimensões da obra são múltiplas do módulo e existem entre tais dimensões relações facilmente perceptíveis, foi conquistada para o sistema uma mútua coordenação de medidas. A magnitude de cada módulo pode ser escolhida segundo o livre critério de cada projetista.

O valor do módulo apresentado pela NBR 15873 é **1 M = 100 mm** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 3). Van Acker (2002, p. 7) explica que estes módulos são fundamentais para que, em projeto, seja feito o correto posicionamento de pilares e caixas de contraventamento, de forma que seja mantida a padronização de lajes, conforme apresentado na figura 4.

Figura 4 – Sistema modular para estruturas pré-fabricadas



(fonte: VAN ACKER, 2002, tradução nossa)

Como objetivos do emprego da coordenação modular, podem-se destacar aqueles apresentados pela NBR 15873 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 3):

- a) ampliar a cooperação entre os agentes da cadeia produtiva da construção civil;
- b) racionalizar a variedade de medidas de coordenação empregadas na fabricação de componentes construtivos;
- c) simplificar o processo de marcação no canteiro de obras para posicionamento e instalação de componentes construtivos;
- d) aumentar a intercambialidade de componentes tanto na construção inicial quanto em reformas e melhorias ao longo da vida útil projetada da edificação.

De acordo com Koncz (c1968, p. 22, tradução nossa), as consequências da coordenação modular são:

- a) a possibilidade de escolha do produto mais conveniente, já que são vários os que, com iguais dimensões, podem ser adequados para uso;
- b) a simplificação do trabalho durante o projeto e a diminuição da possibilidade de erros;
- c) o aumento de produtividade, [...];
- d) a especialização da produção.

No caso do projeto de **vigas**, também deve buscar a **padronização** dos elementos. Conforme a Munte Construções Industrializadas Ltda.(2007, p. 299), “As vigas devem ter a maior repetitividade possível, ou seja, devem ser projetadas com a máxima racionalidade e facilidade de execução.”.

3.3.1.2 Projeto estrutural

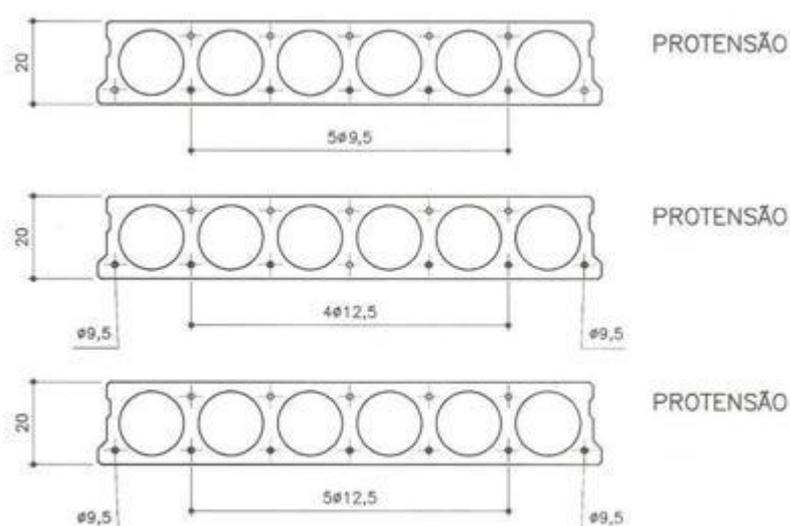
A armadura das lajes alveolares é composta por cabos de protensão. El Debs (2000, p. 255) indica que os cabos podem estar dispostos tanto na parte inferior quanto na superior da seção, não havendo a presença de armadura para resistir a esforços cortantes e, tampouco, para esforços de tração na direção transversal das lajes.

É possível, ainda, implementar combinações de armaduras de protensão possíveis, como forma de se padronizar o processo executivo. A Munte Construções Industrializadas Ltda. (2007, p. 265) indica, para lajes de 20 cm de espessura (figura 5), as seguintes combinações

de armação, nas quais o primeiro número representa a quantidade de cabos de protensão e, o segundo, o seu diâmetro:

- a) 5 Φ 9,5 mm;
- b) 7 Φ 9,5 mm;
- c) 4 Φ 12,7 mm + 2 Φ 9,5 mm;
- d) 5 Φ 12,7 mm + 2 Φ 9,5 mm;
- e) 7 Φ 12,7 mm.

Figura 5 – Posição dos cabos nas lajes de 20 cm de espessura



(fonte: MUNTE DE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS LTDA., 2007)

3.3.2 Execução, transporte e montagem

O processo executivo das lajes alveolares ocorre em pistas de protensão, por extrusão ou por fôrmas deslizantes. De maneira geral, os fabricantes possuem pistas com largura de 1,20 m e comprimento variando entre 80 e 150 m. Já que estas pistas são inteiramente concretadas de uma única vez para, posteriormente, receberem o corte no tamanho específico das lajes, tornam-se fundamentais aspectos como grau de protensão, tipos de cordoalhas e espessura de lajes, a fim de se manter a característica de produção seriada destes elementos (VAN ACKER, 2002, p. 73). A figura 6 apresenta as etapas do processo executivo.

Figura 6 – Processo executivo de lajes alveolares:
(a) preparação da pista; (b) concretagem e (c) corte e desfôrma



(fonte: adaptado de VENTURINI, 2011)

A Munte Construções Industrializadas Ltda. (2007, p. 245) ainda indica que a produção de lajes por extrusão oferece melhor qualidade final, uma vez que o valor da relação água/cimento utilizada é baixo, garantindo maior resistência à compressão e menor porosidade do concreto. Segundo a Cassol Pré-Fabricados (2012), o processo por extrusão gera um alto grau de compactação no concreto, oferecendo um produto com grande durabilidade.

A produção de vigas protendidas padronizadas ocorre em pistas de largura fixa, havendo o uso de fôrmas metálicas estruturadas. Já para a execução de seções especiais, são empregadas fôrmas de madeira. No entanto, deve-se assegurar, em ambas as condições, a não ocorrência de imperfeições geométricas nos elementos moldados.

Conforme Koncz (c1968, p. 64, tradução nossa), a utilização de caminhões para transporte de peças pré-fabricadas é amplamente empregada em razão de o acesso à grande parte das obras ocorrer exclusivamente por meio terrestre. No entanto, o número de elementos transportados é limitado por viagem em função de regras de tráfego que regulam peso, largura e comprimento destas peças.

Para a montagem de estruturas, Oliveira (2007, p. 40) indica o uso de guas e guindastes. A instalação de guas nas obras pode trazer uma série de benefícios: entre eles, destacam-se a redução do número de operários, a agilização do sistema construtivo e possibilidade de içamento de grandes peças pré-fabricadas, como pilares, lajes, vigas e fachadas. Assim como as guas, os guindastes podem cumprir função semelhante em obra, no entanto, estão atribuídos a altos valores de aluguéis. Portanto, para que seus benefícios sejam maximizados, é necessário que haja um planejamento adequado para itens como localização na obra, proximidade com estoques, áreas de carga e descarga, vias de circulação, interferência à rede elétrica, árvores e outros equipamentos, como elevadores de carga e geradores.

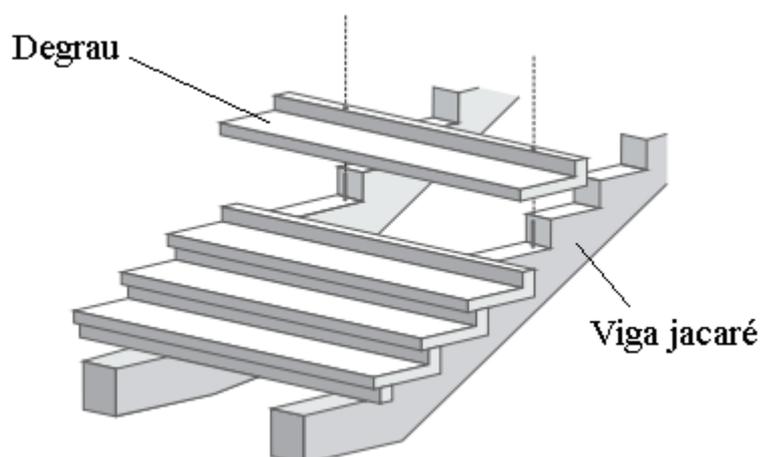
3.4 APLICAÇÃO EM COMPLEXOS ESPORTIVOS

Novos complexos esportivos têm sido construídos no Brasil. Os Jogos Pan-Americanos de 2007 e, atualmente, a preparação do País para a Copa do Mundo de 2014 e para os Jogos Olímpicos de 2016 tem consolidado o concreto pré-fabricado como principal alternativa na viabilização destas obras. Nesse contexto, destacam-se tanto a construção de novas arenas multiuso, quanto a modernização de estádios de futebol antigos.

Faria¹ (2009, p. 22) acredita que sistemas industrializados (pré-fabricados ou mesclados com estruturas metálicas) representam as melhores alternativas para a construção de arenas multiuso na atualidade, devido a dois fatores principais. O primeiro, devido ao custo elevado com cimbramentos em estruturas moldadas *in loco*, e, o segundo, devido ao tipo de obra, que exige ritmo acelerado de execução. El Debs (2000, p. 363) indica que, na execução de arquibancadas (figura 7) e estádios, o emprego de elementos pré-fabricados “É justificado pela possibilidade de racionalizar a construção e propiciar grande durabilidade a ela.”.

¹ Entrevista com Aluizio D’Ávila e José Luiz Varela, calculistas estruturais em concreto armado e protendido, com especialização em pré-moldados.

Figura 7 – Arquibancada pré-fabricada: degrau e viga jacaré



(fonte: adaptado de CASSOL PRÉ-FABRICADOS, 2012)

Segundo Van Acker (2002, p. 21), existem diferentes tipologias para complexos esportivos, cada uma com suas próprias exigências de projeto. O uso de pré-fabricados tem como principal função viabilizar grandes saguões projetados para estruturas apertadas e também para arenas e arquibancadas, compostas por sistemas de esqueleto, enquanto que os pisos são formados por lajes alveolares. Conforme El Debs (2000, p. 363):

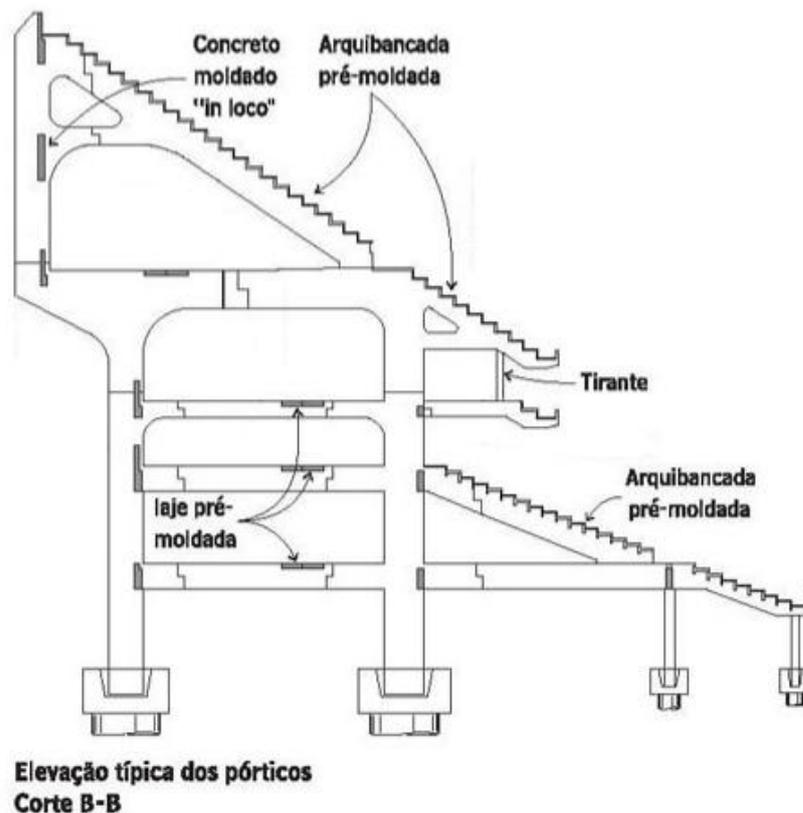
Nos estádios e ginásios cobertos, o concreto pré-moldado pode ser empregado, além das arquibancadas [degraus], na estrutura suporte das arquibancadas [vigas jacaré], na cobertura da construção ou das arquibancadas, nas áreas de acesso e em elementos de fachadas. Cabe registrar que muitas vezes é utilizada alternativa intermediária, entre as extremas com emprego exclusivo do concreto pré-moldado e com concreto moldado no local, mas sempre com a tendência de utilizar concreto pré-moldado pelo menos nas arquibancadas.

Segundo Rocha², (A., 2012), os pré-fabricados em concreto têm sido as melhores soluções para ampliar e modernizar estádios, especialmente devido à sua rapidez de execução e por poderem ser produzidos fora do local do empreendimento, não interferindo em suas condições normais de uso. El Debs (2000, p. 363) complementa ao afirmar que “A aplicação do concreto pré-moldado é particularmente interessante devido ao fato de que, na alternativa em concreto moldado no local, os trabalhos relativos à execução da fôrma, armação e da concretagem não são simples e apresentam alto grau de repetição.”.

² Entrevista com Hugo Corres Peiretti, engenheiro espanhol especialista em concreto pré-moldado, responsável por projeto e concepção estrutural de estádios na Espanha, como o Nuevo Valência.

Um dos exemplos de uso de pré-fabricados em estádios de grande porte é a construção do Estádio Olímpico João Havelange, no Rio de Janeiro. Inicialmente, estava prevista a sua execução pelo método de moldagem *in loco*, porém, o curto prazo de execução e o alto custo referente ao consumo de fôrmas provocaram mudanças na concepção estrutural inicial, já que as arquibancadas e as lajes de piso passaram, então, a ser pré-fabricadas (figura 8). A economia de concreto e aço estabelecida reduziu o peso próprio das estruturas e, portanto, a quantidade de material necessária para as fundações. Assim, os custos da obra com a supraestrutura também tiveram considerável redução (FARIA, 2007, p. 45-47).

Figura 8 – Estrutura: Estádio Olímpico João Havelange



(fonte: adaptado de FARIA, 2007)

4 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Projetar produtos, controlar estoques, recrutar e treinar pessoal, aplicar recursos financeiros e definir logística de distribuição são, entre outros, funções básicas à operação dos sistemas produtivos de bens para consumo. Estas funções podem ser agrupadas em três grupos (figura 9), conforme suas respectivas atribuições: finanças, *marketing* e produção, sendo que o sucesso dos sistemas produtivos depende da forma como estas se relacionam entre si (TUBINO, 2000, p. 17-18).

Figura 9 – Funções básicas de um sistema de produção



(fonte: TUBINO, 2000)

A função produção, que interessa mais especificamente a este trabalho, está relacionada a todas as atividades que interferem diretamente na produção de bens e serviços, entre elas: fabricação, montagem e armazenagem de produtos. Esta função é um processo de conversão (figura 10), na qual há uma transformação de insumos em bens ou serviços, que são oferecidos aos consumidores (TUBINO, 2000, p. 18-19).

Figura 10 – A função produção



(fonte: TUBINO, 2000)

De acordo com Formoso (2001, p. 3, grifo nosso), os sistemas de planejamento e controle da produção têm ganhado destaque na construção civil, uma vez que:

A indústria da construção no País tem sofrido nos últimos anos mudanças substanciais, provocadas, principalmente, pelo crescente grau de competição existente entre as empresas do setor. A globalização dos mercados, o crescente nível de exigência por parte dos consumidores e a reduzida disponibilidade de recursos financeiros para a realização de empreendimentos, entre outros fatores, têm estimulado as empresas a buscar melhores níveis de desempenho, através de investimentos em gestão e tecnologia da produção. Assim, a exemplo do que vem acontecendo em outros setores industriais, a função produção vem assumindo um papel cada vez mais estratégico na determinação do grau de competitividade das empresas de construção, assim como o setor como um todo.

Neste quadro, o **processo de planejamento e controle da produção** passa a cumprir um papel fundamental nas empresas, à medida que o mesmo tem um forte impacto no desempenho da função produção. [...] deficiências no planejamento e controle estão entre as principais causas da baixa produtividade do setor, das suas elevadas perdas e da baixa qualidade dos seus produtos.

Uma vez que, independentemente do método construtivo empregado, são necessárias ferramentas de apoio à gerência de produção, neste capítulo é abordado o planejamento e controle da produção. Primeiramente, é apresentado o seu conceito básico, como forma de indicar seus objetivos e suas funções fundamentais no cenário dos processos produtivos. Nesse sentido, também é apresentada a sua divisão em níveis hierárquicos. Na sequência, é abordadas algumas das atividades que compõem o planejamento e controle da produção, como o controle de estoques e a programação da produção, sendo esta direcionada para a pré-fabricação. Por fim, são apresentados métodos alternativos existentes que podem contribuir com o controle dos processos produtivos em geral, como forma de contrapor ou complementar o planejamento e controle da produção.

4.1 CONCEITO

Como conceito de planejamento, Formoso (2001, p. 5-6) indica que:

[...] trata-se de 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 o controle. Assim, pode-se afirmar que não existe a função controle sem planejamento e que o planejamento é praticamente inócuo se não existe controle.

Rocha (D., c1996, p. 13) identifica o planejamento e controle da produção (PCP) como uma ferramenta de auxílio aos responsáveis pela gerência de produção, balizando os processos decisórios. No entanto, Formoso (2001, p. 3) ressalta que “O planejamento e controle da produção normalmente não é encarado como um processo gerencial, sendo confundido, com

frequência, com o trabalho isolado de um setor da empresa ou com a simples aplicação de técnicas para a geração de planos.”.

Segundo Rocha (D., c1996, p. 174), o planejamento e controle da produção fornece os planos que servem de guia para a execução e para o controle da produção, ditando normas à linha de fabricação. Dessa forma, é possível obter um fluxo contínuo e ordenado, satisfazendo aos requisitos apresentados no quadro 1.

Quadro 1 – Planejamento realizado pelo PCP

O que produzir	determinando o produto a ser feito
Quanto produzir	quantificando a produção
Com que produzir	definindo o material a ser usado
Como produzir	determinando o processo (modo de fazer)
Onde produzir	especificando equipamentos
Com quem produzir	quantificando mão de obra
Quando produzir	estipulando prazo de execução

(fonte: ROCHA, D., c1996)

O planejamento e controle da produção pode ser visto, portanto, como uma maneira de coordenar e aplicar, da melhor maneira possível, os planos de atividades elaborados antes e durante a execução da obra. Nesse sentido, há a subdivisão do planejamento em longo, médio e curto prazo, representados pelos níveis estratégico, tático e operacional, respectivamente (TUBINO, 2000, p. 23).

4.2 NÍVEIS HIERÁRQUICOS

A execução de empreendimentos da construção civil apresenta alto grau de complexidade e grande variabilidade de processos. Portanto, assim como em outros setores da indústria, o planejamento e controle da produção são divididos em diferentes níveis hierárquicos: estratégico, tático e operacional (FORMOSO, 2001, p. 8). Na sequência, estes itens são apresentados.

4.2.1 Nível estratégico

Segundo Formoso (2001, p. 21):

O planejamento estratégico do empreendimento não faz parte do processo de planejamento e controle da produção propriamente dito, estando muito mais vinculado às etapas iniciais do processo de projeto. Entretanto, esse processo gera informações de grande importância para o planejamento a nível tático, como alguns marcos (*milestones*) importantes do processo de produção: datas de início da obra, conclusão da estrutura, entrega das unidades, etc.

Conforme Tubino (2000, p. 24), o nível estratégico define as políticas de longo prazo da empresa, no qual o PCP participa da formulação de um plano de produção. Pouco detalhado, este plano se baseia em estimativas de vendas e recursos financeiros e produtivos disponíveis. Geralmente, trabalha-se com períodos de meses, trimestres ou anos.

4.2.2 Nível tático

No nível tático, é realizado o planejamento de médio prazo para a obra, o qual se desenvolve a partir do planejamento-mestre de produção. Esta etapa está encarregada por detalhar e especificar o planejamento definido no nível estratégico, no sentido de conectá-lo com as atividades operacionais do curto prazo, como montagem, fabricação e compras. O resultado desse trabalho é o plano-mestre de produção, cujo horizonte de tempo é de quatro a seis semanas (TUBINO, 2000, p. 88).

Uma das funções do nível tático é a remoção das restrições existentes ao sistema produtivo, através da análise dos lotes de trabalho que nesta etapa foram definidos. Para isto, é necessária a reunião de informações e recursos disponíveis para cada uma destas atividades, como a verificação da disponibilidade de projetos, mão de obra e recursos materiais e financeiros. A partir disso, são definidas as medidas a serem tomadas para a resolução dos problemas existentes e, assim, as atividades serem enviadas para o planejamento de curto prazo (FORMOSO, 2001, p. 24).

4.2.3 Nível operacional

Para Formoso (2001, p. 28):

O planejamento de curto prazo ou operacional tem o papel de orientar diretamente a execução da obra. Em geral, é realizado em ciclos semanais, sendo caracterizado pela atribuição de recursos físicos (mão de obra, equipamentos e ferramentas) às atividades programadas no plano de médio prazo, bem como o fracionamento destas atividades em pacotes menores.

[...]

O planejamento neste nível deve ter forte ênfase no engajamento das equipes com as metas estabelecidas, sendo por isto denominado na bibliografia de *commitment planning* (planejamento de comprometimento). Tal engajamento pode ser obtido através da realização de reuniões periódicas, de caráter semanal, as quais ocorrem na própria obra, contando, em geral, com a participação do gerente da obra, mestre de obras, subempreiteiros e líderes de equipes. Estas reuniões fecham o ciclo de planejamento e controle através da avaliação das equipes de produção quanto ao cumprimento de metas no período anterior, e do planejamento do período seguinte.

Segundo Tubino (2000, p. 24), no nível operacional são preparados os programas de curto prazo da produção, por meio da programação da produção, responsável por administrar estoques, sequenciamento e emissão de ordens de compra, fabricação e montagem. A figura 11 ilustra as atividades desta programação.

Figura 11 – Hierarquia das funções da programação da produção

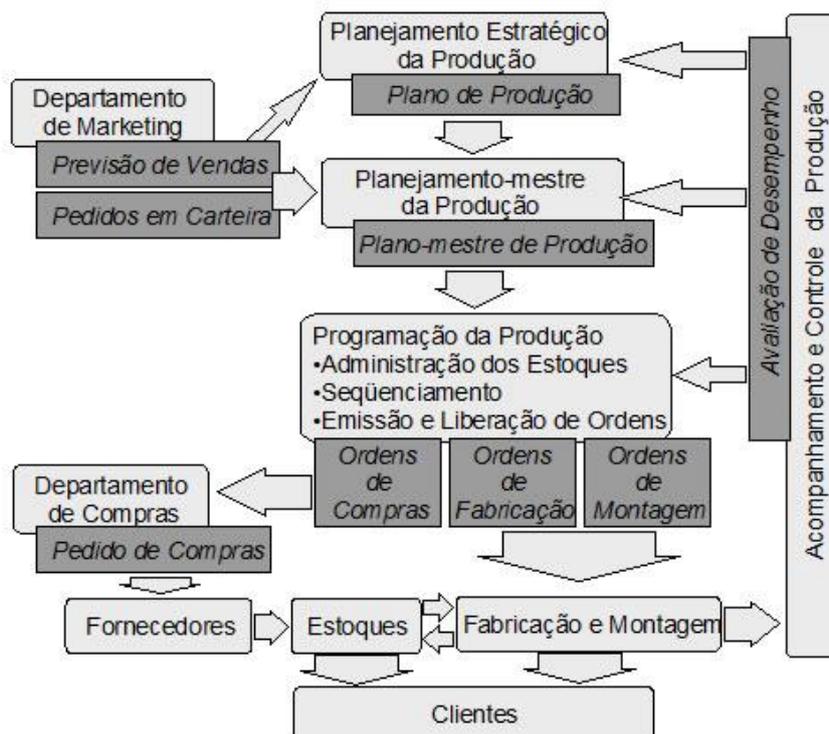


(fonte: adaptado de TUBINO, 2000)

Ainda, como forma de acompanhar o desenvolvimento destas atividades, executa-se o acompanhamento e controle da produção. Nesta etapa, é feita a coleta de dados (índices de

defeitos, horas/máquinas e horas/homens consumidas, consumo de materiais, índices de quebras de máquinas, etc.) e a análise do desempenho das atividades planejadas na programação da produção (TUBINO, 2000, p. 26). Por fim, a figura 12 ilustra uma visão geral de todas as ferramentas envolvidas no planejamento e controle da produção.

Figura 12 – Visão geral das atividades do PCP



(fonte: TUBINO, 2000)

4.3 ESTOQUES

Para Slack et alli (1997, p. 383), o estoque “[...] é criado para compensar diferenças de ritmo entre fornecimento e demanda.”. Nesse sentido, Krajewski et alli (2010, p. 385) indicam que “O estoque é gerado quando o recebimento de materiais, peças ou bens materiais é superior à sua utilização ou saída.”.

Tubino (2000, p. 107) conclui que “[...] os estoques são criados para absorver problemas do sistema de produção. [...] como os estoques não agregam valor aos produtos, quanto menor o nível de estoques com que um sistema produtivo conseguir trabalhar, mais eficiente este sistema será.”. Segundo Krajewski et alli (2010, p. 407), para que o sistema de estoque obtenha êxito, é fundamental um controle apurado dos materiais armazenados. Para isto,

torna-se necessária a designação de pessoal especializado para acompanhar a entrada e saída de materiais e as transações ocorridas dentro do próprio estoque. O armazenamento em locais cujo acesso é controlado também deve ser priorizado, já que é comum a entrada de pessoas não autorizadas que interferem na organização já estabelecida e a colocação acidental de peças em posições equivocadas.

O controle de estoque também é destacado por Slack et alli (1997, p. 401) como peça chave no sistema produtivo, em razão de sua condição complexa e dinâmica. Em função disto, há a necessidade, primeiramente, de se discriminar os diferentes itens estocados e investir em sistemas de processamento de informação que tenham plena capacidade de controle. Nesse aspecto, Slack et alli (1997, p. 404-405) indicam o uso de sistemas computadorizados, aliados ao uso de códigos de barras associados às peças e pontos de registro de informação. Como práticas recomendáveis de controle de estoque, os autores citam as seguintes:

- a) **analisar registros de estoque:** todas as movimentações ocorridas no estoque, como a entrada, a saída ou movimentação de alguma peça, deverão ter registro imediato ao controle, para que os níveis de estoque estejam atualizados para consulta da gerência de produção;
- b) **gerar pedidos:** o uso de sistemas computacionais que permitam o registro de pedidos realizados torna-se fundamental para a checagem da demanda ou do tempo de permanência médio das peças no estoque;
- c) **gerar registros de estoque:** os sistemas de controle podem gerar relatórios regulares dos níveis de estoque, de forma que a gerência de produção possa monitorar o desempenho do estoque;
- d) **prever:** trabalhar sempre com a previsão de demandas futuras, que pode ser realizada através do comparativo entre a demanda prevista e a demanda realizada.

4.3.1 Localização de materiais

Para Dias (1993, p. 186), “O objetivo de um sistema de localização de materiais deverá ser de estabelecer os meios necessários à perfeita utilização da localização dos materiais estocados [...]. Deverá ser utilizada uma simbologia (codificação) específica para cada local de estocagem.”.

Sabe-se que existem dois sistemas de estocagem: o fixo e o livre. No sistema de estocagem fixo, somente um tipo de material pode ser estocado na área para qual foi definido. Como contraponto, há grande risco de desperdício de áreas para estocagem. No sistema de

estocagem livre, não há fixação para armazenagem de materiais, exceto casos especiais. Como desvantagem, tem-se que os sistemas de controle devem ser extremamente rigorosos, sob o risco de haver perda de endereçamento de peças (DIAS, 1993, p. 187).

4.3.2 Classificação e codificação de peças

De acordo com Dias (1993, p. 189):

O objetivo da classificação é definir uma catalogação, simplificação, especificação, normalização, padronização e codificação de todos os materiais componentes do estoque da empresa. A necessidade de um sistema de classificação é primordial [...], pois sem ela não pode existir um controle eficiente dos estoques, procedimentos de armazenagem adequados e uma operacionalização [...] de maneira correta.

Dias (1993, p. 189) ainda destaca que “[...] a classificação não deve gerar confusão, ou seja, um produto não poderá ser classificado de modo a ser confundido com outro, mesmo sendo este semelhante. A classificação, ainda, deve ser feita de maneira que cada gênero de material ocupe seu respectivo local.”. Nesse sentido, o autor sugere o uso da codificação dos materiais armazenados, especialmente pelo sistema alfanumérico, representado por combinações de letras e números, e que permite um número de itens em estoque superior a outros sistemas mais simples, como o alfabético.

4.3.3 Inventários

Os inventários consistem na contagem física dos elementos do estoque, de forma que sejam verificadas as discrepâncias em valor entre os estoques físico e contábil, e entre os valores de registro e quantidade real, além da apuração do valor total do estoque contábil para efeitos de balanço. Os inventários podem ser fixos – quando são realizados de uma só vez, abrangendo todos os itens do estoque – ou rotativos, nos quais as contagens são distribuídas ao longo do ano, com maior frequência, possibilitando maior controle (DIAS, 1993, p. 192).

4.4 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO APLICADA À PRÉ-FABRICAÇÃO

No nível operacional do planejamento e controle da produção de obras pré-fabricadas, é fundamental uma correta programação das atividades que envolvem os elementos pré-

fabricados em concreto, como fabricação, transporte e montagem. Nesse sentido, Prieto (1968, p. 95, tradução nossa) apresenta três recomendações:

- a) na fabricação, buscar as maiores séries de peças homogêneas possíveis, de forma que se diminua o tempo unitário por peça e que se aproveite ao máximo o desempenho de máquinas e mão de obra;
- b) no transporte, prever a circulação das equipes de forma contínua, sem tempo ocioso;
- c) na montagem, disponibilizar as peças a serem montadas pelas guias no instante correto, sem retardos ou adiantamentos.

4.4.1 Programação de fabricação

O programa de pré-fabricação agrupa as peças a serem produzidas por famílias e tipos. As **famílias** compõem um grupo mais amplo de peças, as quais possuem as mesmas dimensões exteriores e, dentro de cada família, existem diferentes **tipos** de peças em função dos elementos incorporados. Assim, as mesmas fôrmas produzem os tipos diferentes que compõem a mesma família, sendo necessário alterá-las para que se produza uma família diferente. Uma vez definidas estas categorias, pode-se programar a produção conforme a demanda de diferentes frentes e os níveis de estoque de materiais, especificando-se assim as programações diárias de fabricação. Os sistemas de planejamento e controle devem ainda especificar previsões de expedição de peças, demanda por famílias e tipos, séries de fabricação e movimentação de estoque (PRIETO, 1968, p. 94-95).

4.4.2 Programação de expedição

Conforme Prieto (1968, p. 95, tradução nossa):

A partir do cronograma de montagem, que ordena o dia e a hora que cada peça deve ser colocada em obra, se estabelece o programa de expedição, organizando cada transporte de forma que a carga de peças seja a máxima permitida pelos transportadores. A carga em fábrica deve se realizar em ordem inversa à de sua colocação em obra.

4.4.3 Programação de montagem

Para El Debs (2000, p. 59), o planejamento de montagem deve definir a própria sequência de montagem das peças, verificando as condições de acesso dos equipamentos utilizados e a

possível interferência de escoramentos provisórios. Ainda, indica a necessidade de verificação de possíveis impedimentos gerados por construções vizinhas à obra.

De acordo com Prieto (1968, p. 94-95, tradução nossa), a programação de montagem deve iniciar a partir daqueles trechos que apresentam o maior número de elementos que se repetem. Em relação ao ritmo de montagem, considera dois fatores fundamentais: a capacidade dos equipamentos disponíveis, conforme sua média diária de colocação de elementos verticais e horizontais; e o ciclo de montagem, que compreende a colocação das peças, a preparação das juntas e a união entre os painéis.

Um dos fatores a ser considerado no planejamento de montagem é a determinação dos acessos, seja este para veículos que transportam as peças ou para os equipamentos utilizados na montagem. A sequência de montagem depende dos portões de entrada e do *layout* do canteiro de obras. A certificação de que os acessos estão perfeitamente nivelados e compactados é garantia de que, tanto os veículos transportadores quanto suas cargas, não sofrerão danos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO, 2010, p. 1).

A definição dos equipamentos a serem empregados tem como base as condições apresentadas a partir do acesso ao canteiro de obras, da identificação dos riscos e obstáculos potenciais, do tamanho e peso dos componentes pré-fabricados, e da provável locação do equipamento. A partir de então, é possível definir o raio de trabalho, o centro de gravidade, ângulos a serem adotados e equipamentos auxiliares para içamento, como cabos de aço e garras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO, 2010, p. 2).

O plano de montagem deve verificar, no cronograma, as atividades que estarão sendo realizadas simultaneamente à montagem dos pré-fabricados, a fim de identificar possíveis interferências. A previsão das condições climáticas também deve ser consultada. Em relação à sua divulgação, é fundamental o contato com as frentes de fabricação e expedição dos componentes pré-fabricados. Ainda, outros fatores são relevantes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO, 2010, p. 2-3):

- a) a quantidade de cargas entregues em obra deve ser compatível com cronograma, áreas de estocagem e frentes de trabalho;

- b) listas de inspeção devem ser elaboradas para autorizar o recebimento de peças no canteiro;
- c) definição de locais para estocagem no canteiro de obras.

A sequência de montagem é provavelmente um dos fatores que mais influenciam uma correta montagem de pré-fabricados. Ela é controlada por diversos aspectos. Os mais importantes são as formas da construção e a locação do guindaste na obra, para que não sejam feitas movimentações desnecessárias. Nesse sentido, sempre que possível, convém montar todos os elementos de um determinado setor, dando-se prioridade àqueles que agregam o maior número de peças (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO, 2010, p. 4-5).

4.5 OUTRAS TÉCNICAS APLICADAS À PRODUÇÃO

Além do planejamento e controle da produção, outras técnicas apresentam-se como ferramentas para o controle dos sistemas produtivos. Nesse sentido, Tubino (2000, p. 188) indica que “[...] o *just-in-time* (JIT) para as questões estruturais da produção e o controle da qualidade total (TQC) para a identificação, análise e solução de problemas têm se mostrado como o melhor caminho para o melhoramento contínuo das empresas.”.

Segundo Rocha (D., c1996, p. 200), a técnica *just-in-time* tem origem no Japão, com a premissa de racionalizar etapas do processo produtivo, através da eliminação de etapas que não agreguem valor ao produto final, como filas, tempos de espera, excessos, defeitos, tempo de preparação, etc. Assim, o JIT busca:

- a) produzir em prazos mínimos;
- b) inventariar o mínimo possível;
- c) reduzir ao mínimo os tempos de ajuste e troca de ferramentas;
- d) estocar o mínimo (ou em nível zero);
- e) reduzir perdas;
- f) trabalhar com *layout* compacto;
- g) estimular aumento de produtividade.

Conforme Tubino (2000, p. 188), “As ferramentas empregadas pelo TQC podem e devem ser entendidas e empregadas pelo pessoal do PCP, principalmente na função de acompanhamento e controle do programa de produção.”. Nesse aspecto, o ciclo PDCA para controle de

processos é a principal ferramenta de gerenciamento proposto pelo TQC. Suas iniciais representam: planejar (*plan*), executar (*do*), verificar (*check*) e agir corretivamente (*action*).

Há ainda o sistema kanban de programação e controle da produção. Rocha (D., c1996, p. 201) indica que esta técnica:

[...] é dirigida à melhoria dos métodos de produção a partir da utilização de cartões (kanban) e visa controlar os movimentos de material ou a operação desse material (produção), controlando o estoque entre as fases do processo. Kanban significa sistema de controle de fluxo usando cartões. Há cartões para movimentação e para produção. O primeiro especifica o tipo de peça, onde se aplica e para onde é enviada. Mostra de onde vem e para onde vai. O cartão de produção especifica o que será fabricado, onde e com que material ou peça de montagem.

O sistema kanban permite controlar tudo o que está ocorrendo na produção por meio da visualização de cartões. No instante em que há deslocamento de peças, o cartão avisa que chegou o momento de haver movimentação para repor o estoque anterior.

Pode-se citar, ainda, a ferramenta para elaboração de planos de ações 5W2H. Sua denominação representa sete palavras de língua inglesa:

- a) *What?* O quê?
- b) *Why?* Por quê?
- c) *Who?* Quem?
- d) *Where?* Onde?
- e) *When?* Quando?
- f) *How?* Como?
- g) *How much?* Quanto custa?

Para Correa (2012):

O 5W2H, basicamente, é um *checklist* de determinadas atividades que precisam ser desenvolvidas com o máximo de clareza possível por parte dos colaboradores de determinada empresa [quadro 2].

Ele funciona como um mapeamento de atividades, onde ficará estabelecido o que será feito, quem fará o quê, em qual período de tempo, em qual área da empresa e todos os motivos pelos quais esta atividade deve ser feita. Em um segundo momento, deverá figurar nesta tabela como será feita esta atividade e quanto custará aos cofres da empresa.

Quadro 2 – Método 5W2H

5W	What	O Que?	O que será feito? (projeto / fases / etapas / atividades)
	Who	Quem?	Quem fará? (papéis / responsabilidades / áreas)
	Where	Onde?	Onde será feito? (logicamente / fisicamente)
	When	Quando?	Quando será feito? (tempos e prazos / início e fim)
	Why	Por quê?	Por quê será feito? (justificativas / necessidades)
2H	How	Como?	Como será feito? (meios / procedimentos / técnicas utilizadas)
	How much	Quanto custa?	Quanto custa o que será feito? (custos / despesas)

(fonte: CORREA, 2012)

5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Neste capítulo, são apresentadas as etapas que compõem a base de desenvolvimento do estudo proposto. Primeiramente, são apresentados os aspectos gerais do empreendimento, destacando-se características da obra e especificações referentes ao sistema de aplicação de pré-fabricados à estrutura. Posteriormente, são identificadas as interferências existentes a este processo, e as consequências geradas ao andamento da obra. Na sua parte final, são apresentadas as soluções implementadas para solucioná-los.

Cabe ressaltar que, ao longo do desenvolvimento da pesquisa, a empresa responsável pela execução da obra não é identificada, como forma de não deixá-la em exposição. Por este motivo, aqueles dados e ilustrações que são provenientes desta organização estarão identificados apenas como **empresa estudada**.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA ESTUDADA

A apresentação da obra em estudo é fundamental no desenvolvimento do trabalho, para que possam ser verificadas as características envolvidas na sua execução, peculiaridades, adversidades e métodos construtivos. A construtora responsável pelo empreendimento é sediada em São Paulo, tendo como experiência em complexos esportivos apenas a ampliação e reforma de estádios de futebol, citados a seguir (empresa estudada³, 2012):

- a) Complexo do Maracanã, Rio de Janeiro, 2006,
 - capacidade: 62.000 espectadores;
 - tipo de obra: conclusão da reforma geral;
 - área de intervenção: 423.866 m²;
- b) Estádio Olímpico João Havelange (Engenhão), Rio de Janeiro, 2007,
 - capacidade: 45.000 espectadores;
 - tipo de obra: complementação do processo construtivo;
 - área de intervenção: 162.800 m²;
- c) Arena Barueri, Barueri, 2010,
 - capacidade: 40.000 espectadores;

³ Informações colhidas no site da empresa estudada.

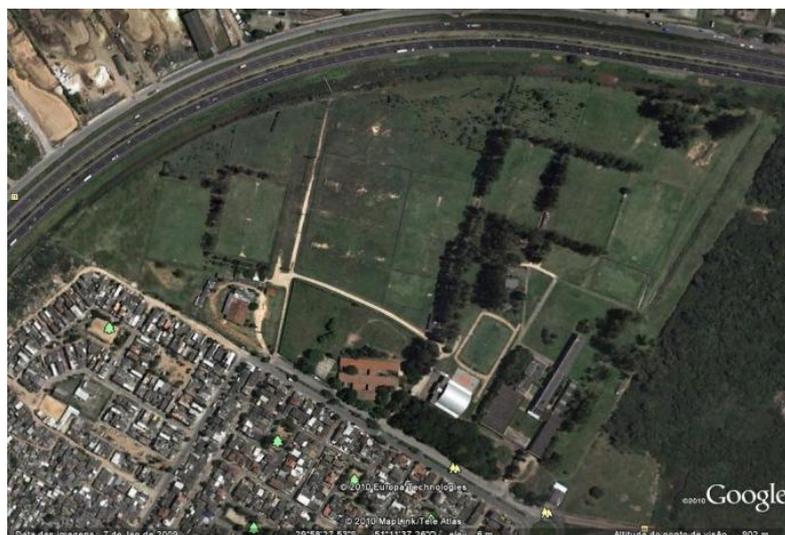
- tipo de obra: reforma e ampliação da capacidade.

A confirmação da realização da Copa do Mundo de 2014 no Brasil alavancou reformas de estádios antigos e a construção de arenas multiuso em todo o País, segmento que até então era pouco explorado pelas construtoras brasileiras. Nesse contexto, juntamente à obra realizada em Porto Alegre, a Construtora ainda é responsável pela execução de complexos esportivos em Natal e Salvador, visando prepará-los para a Copa do Mundo.

Atualmente, a concepção de novos estádios encontra-se em sua Quinta Geração, caracterizada pela construção de estádios em zonas degradadas e abandonadas das cidades, como forma de revitalizá-las. Os projetos contemplam, além do estádio, espaços comerciais, corporativos e residenciais, tornando-se polos de atração de consumidores e ícones arquitetônicos nas suas cidades (SHEARD, [2005], p. 114, tradução nossa).

Neste contexto, insere-se a obra em análise deste estudo. Situado em Porto Alegre (figura 13), o empreendimento atende a tais requisitos, fazendo parte de um complexo no qual, futuramente, será composto ainda por *shopping center*, centro de convenções, edifício-garagem, hotel, torres comerciais e condomínios residenciais (figura 14).

Figura 13 – Localização do empreendimento, em Porto Alegre



(fonte: elaborado pelo autor)⁴

⁴ Elaborado pelo autor com base no *site* GOOGLE MAPS.

Figura 14 –Implantação do empreendimento



(fonte: empresa estudada, 2011)

Como área total do terreno de todo o empreendimento e, conseqüentemente, do canteiro de obras, tem-se os valores da tabela 1:

Tabela 1 – Área do terreno

ÁREA	m ²
ESTÁDIO	192.000
MULTIUSO	121.000
RESIDENCIAL	67.000
TOTAL	380.000

(fonte: empresa estudada, 2011)

O estádio foi concebido tendo como base as diretrizes emitidas pela FIFA⁵, estando apto, desta forma, para receber partidas durante a Copa do Mundo e ser utilizado como campo de treinamentos ao longo do evento. Assim, o dimensionamento dos espaços, tanto para atletas quanto para o público, seguiu recomendações específicas de segurança (evacuação), conforto, visibilidade, estratificação e acessibilidade.

⁵ Fédération Internationale de Football Association. **Football stadiums: technical recommendations and requirements**, 4. ed. Zurich: Multicolor Print AG, 2007.

O estádio apresenta a característica de arena multiuso, estando preparada para receber, além dos jogos de futebol, shows com capacidade para 70.000 espectadores (com utilização do gramado), feiras, eventos e exposições comerciais, apoiados por diversos setores polivalentes, como restaurantes, anfiteatro (400 lugares) e mezanino externo com 30.000 m² (fonte: empresa estudada, 2011). Na tabela 2, estão indicados os valores de área construída do empreendimento, esses itens ali especificados são apresentados com maior detalhamento no item 5.1.1.

Tabela 2 – Cálculo de áreas e capacidade

ESTACIONAMENTO COBERTO		
	Vagas	Área (m²)
N0A	1.936	54.757
N0B	308	10.400
TOTAL	2.244	65.157
CONSTRUÇÃO		
não inclui estacionamentos e arquibancadas	Área (m²)	
N0A	9.577	
N0B	6.691	
N01	24.389	
N02	21.083	
N03	21.105	
N04	19.470	
N05	4.343	
N06	3.816	
TOTAL	110.474	
ARQUIBANCADAS		
	Área (m²)	
INFERIOR	9.805	
GOLD	4.795	
CAMAROTES	2.657	
SUPERIOR	14.487	
TOTAL	31.744	
OUTRAS		
	Área (m²)	
CALÇADA EXTERNA	18.009	
PRAÇA DE ACESSO E PROJEÇÃO DE RAMPAS	34.850	
FOSSO	1.124	
COBERTURA	41.835	
TOTAL	95.818	

(fonte: empresa estudada, 2011)

A distribuição dos 60.000 lugares está estruturada em quatro níveis de arquibancada (figura 15). Esta concepção foi definida como forma de se promover diferentes níveis de conforto e visibilidade, necessários para estratificação dos espectadores. Assim, distribuiu-se o público em geral no dois anéis das extremidades, inferior e superior, enquanto que as áreas exclusivas estão situadas no anéis intermediários, onde encontram-se áreas VIP e camarotes (fonte: empresa estudada, 2011).

Figura 15 – Vista interna do estádio



(fonte: empresa estudada, 2011)

5.1.1 Setorização da obra

Em função de sua extensa área construída, foram criados, em projeto, critérios de especificação dos espaços da obra. Assim, foram realizadas setorizações horizontal (setores, eixos e linhas) e vertical (níveis), os quais são apresentados a seguir e estão representados nas figuras 16 e 17.

5.1.1.1 Setorização horizontal

Dividiu-se a planta-baixa da edificação em dez setores distintos, tomando-se como divisão as juntas de dilatação previstas na estrutura. Estes setores, que também podem ser identificados numericamente, conforme apresentado na figura 16, foram assim denominados:

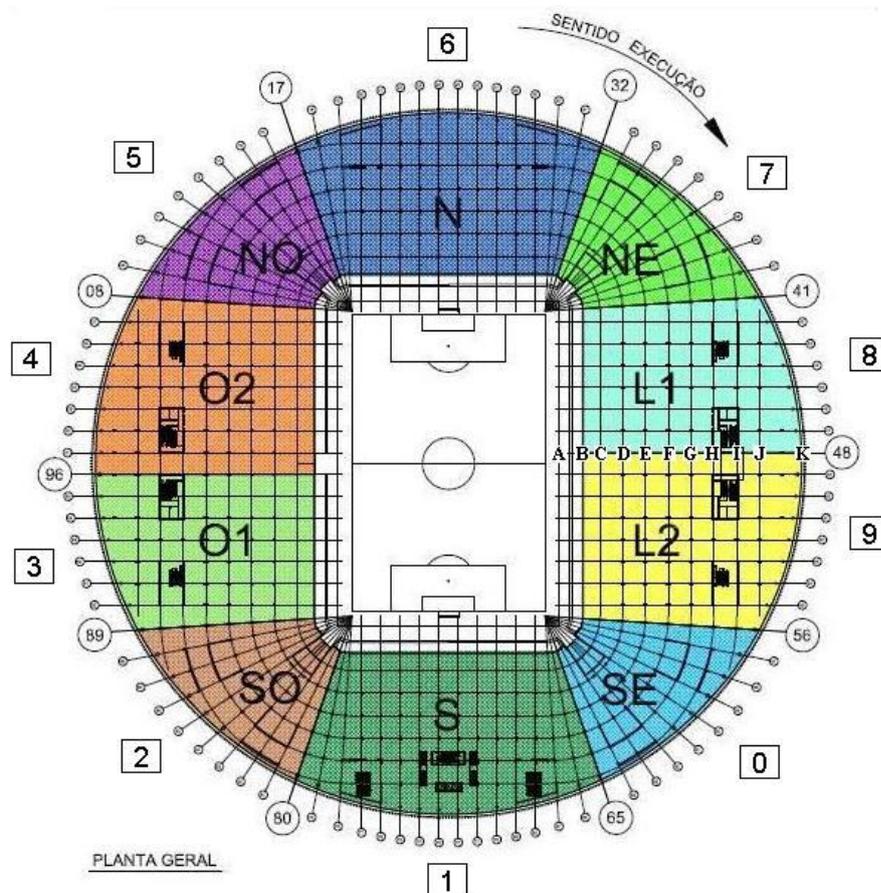
- a) norte (N);
- b) nordeste (NE);
- c) leste 1 (L1);
- d) leste 2 (L2);

- e) sudeste (SE);
- f) sul (S);
- g) sudoeste (SO);
- h) oeste 1 (O1);
- i) oeste 2 (O2);
- j) noroeste (NO).

Ainda, também na fase de projeto, ficou determinada a divisão da edificação em **eixos**, correspondentes às linhas de pilares da estrutura. No sentido anti-horário, iniciando no encontro dos setores oeste 1 e oeste 2, os eixos foram **numerados de 1 a 96**.

Paralelas às linhas de fundo e lateral do gramado, foram definidas as **linhas**. Estas estão identificadas por letras, iniciando por **A** (gramado) e finalizando em **K** (fachada). As letras **B, C, D, E, F, G, H, I e J** compõem as linhas intermediárias.

Figura 16 – Setorização horizontal da obra



(fonte: empresa estudada, 2012)

5.1.1.2 Setorização vertical

As acomodações para os espectadores apresentam quatro lances de arquibancadas, enquanto que as áreas de apoio estão distribuídas em oito níveis de pavimentos.

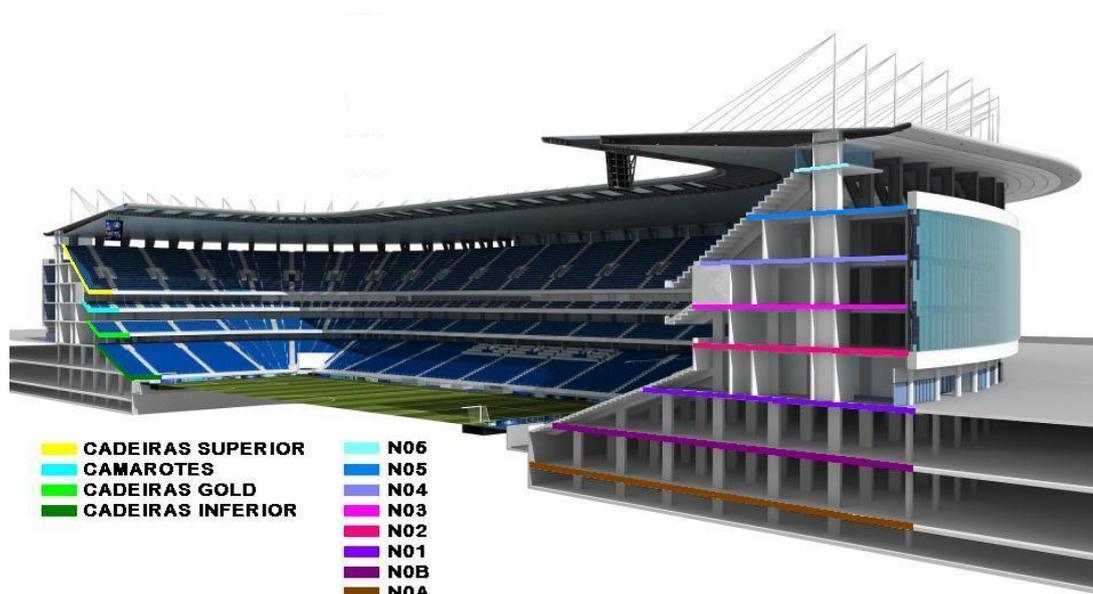
Os quatro anéis que compõem as arquibancadas são, a partir do nível do gramado:

- a) cadeiras – anel inferior;
- b) cadeiras *gold*;
- c) camarotes;
- d) cadeiras – anel superior.

Os oito níveis que compõem os pavimentos de apoio, nos quais estão estacionamentos, sanitários, bares, espaços comerciais e áreas administrativas, a partir do nível do gramado, são (figura 17):

- a) nível +3,20 – **N0A**;
- b) nível +7,25 – **N0B** (exceto nos setores nordeste, leste e sudeste);
- c) nível +11,30 – **N01**;
- d) nível +17,00 – **N02**;
- e) nível +21,76 – **N03**;
- f) nível +26,52 – **N04**;
- g) nível +31,28 – **N05**;
- h) nível +36,00 – **N06** (apenas cabines de imprensa e áreas técnicas).

Figura 17 – Corte esquemático: setorização vertical da obra



(fonte: empresa estudada, 2011)

5.1.3 Estrutura

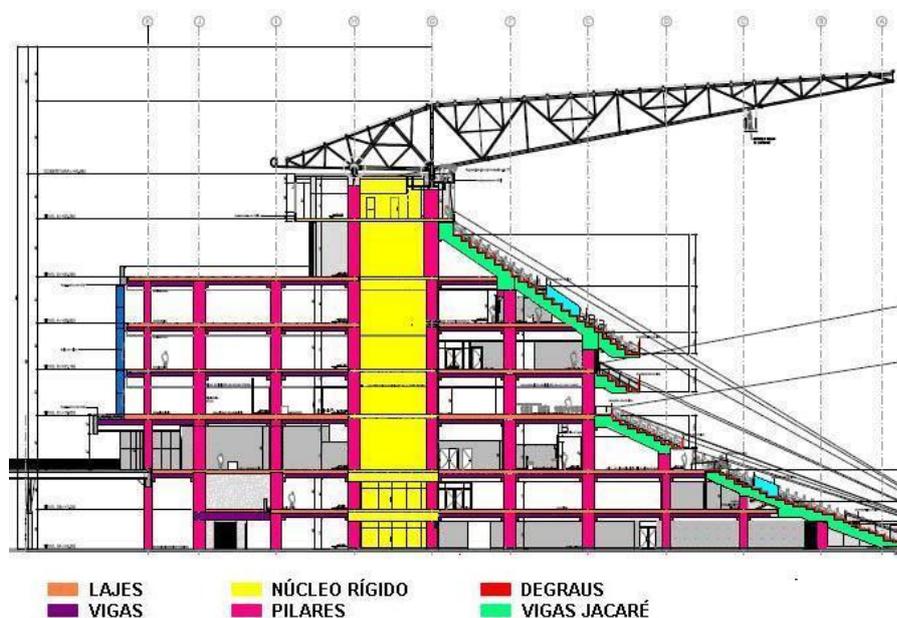
A seguir, são apresentados aspectos referentes à estrutura do estádio em análise, como sistema construtivo, tipo de estrutura, *layout* e modulação do projeto estrutural e produção dos elementos pré-fabricados.

5.1.3.1 Sistema construtivo

O estádio caracteriza-se por um sistema **híbrido**, no qual a estrutura portante é formada por elementos de concreto pré-fabricado e moldados *in loco*. A seguir, a especificação dos elementos correspondentes a estes tipos, que podem ser identificados na figura 18:

- a) elementos pré-fabricados,
 - lajes alveolares;
 - vigas T e L;
 - degraus de arquibancada;
 - vigas jacaré;
- b) elementos moldados *in loco*,
 - pilares;
 - escadas;
 - núcleos de contraventamento (incluindo suas lajes e vigas).

Figura 18 – Corte esquemático (oeste) e identificação dos elementos estruturais



(fonte: empresa estudada, 2012)

5.1.3.2 Tipo de estrutura

A estrutura é do tipo **esqueleto contraventado**, nos quais as vigas e as lajes transmitem as cargas verticais e horizontais dos pavimentos para os pilares. Nesse sistema, a estabilidade horizontal da estrutura é garantida por sistemas de contraventamento, nos quais núcleos centrais rígidos de concreto moldado *in loco* cumprem este papel. Sua aplicação destina-se ainda a caixas de escada e elevadores (VAN ACKER, 2002, p. 64).

As lajes são do tipo alveolar com armadura de protensão, como forma de se atender à necessidade de grandes vãos abertos e, assim, possibilitar a circulação do público. As vigas são do tipo T e L, apoiadas nos consoles dos pilares ou das caixas de contraventamento.

As lajes são simplesmente apoiadas nas vigas, com apoio previsto em projeto de 10 cm, não sendo tolerados, na prática, apoios inferiores a 6 cm. Ainda, como forma de tornar a estrutura monolítica, as lajes recebem armadura (tela soldada) e uma capa estrutural em concreto de 5 cm.

5.1.3.3 Layout e modulação

O *layout* do projeto estrutural segue a modulação assim estabelecida:

- a) largura modulada das lajes: 1,25 m;

- b) distância entre eixos dos pilares: 7,70 m;
- c) vão livre vencido pelas lajes: 7,15 m.

No que se refere ao projeto de fôrmas e armaduras das lajes alveolares empregadas, têm-se:

- a) espessura padrão: 20 cm;
- b) armaduras de protensão (combinações existentes),
 - 5 Φ 9,5 mm;
 - 7 Φ 9,5 mm;
 - 5 Φ 12,7 mm;
 - 7 Φ 12,7 mm;
- c) concreto,
 - f_{ck} : 30 MPa;
 - cobrimento mínimo da armadura: 2,5 cm
 - relação água/cimento: < 0,45.

No entanto, cabe ressaltar que estas medidas não se aplicam aos setores curvilíneos **nordeste**, **sudeste**, **sudoeste** e **noroeste**, em função da variação da distância entre os eixos dos pilares. Assim, todas as lajes que compõem estes setores são distintas uma das outras, pois cada uma delas vence um vão livre diferente, além de apresentarem chanfro em pelo menos uma das extremidades.

Também, há a ocorrência de lajes (denominadas **filetes**) cuja largura não segue o padrão apresentado acima, as quais são utilizadas justamente com o intuito de ajustar a modulação do pavimento e, desta forma, proporcionar máxima repetitividade de peças.

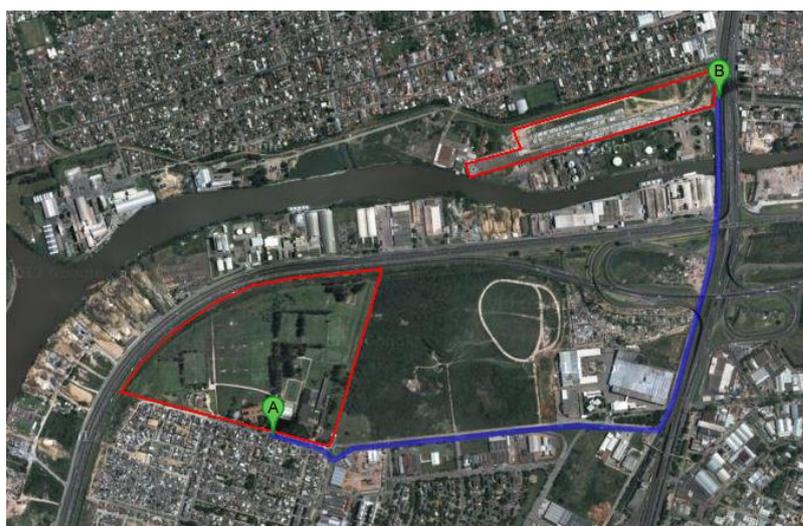
5.1.3.4 Produção

As **vigas T e L** e as **lajes alveolares** são fabricadas em uma indústria próxima ao canteiro de obras, a cerca de 2,5 km de distância. O transporte destas peças é realizado em caminhões do tipo carreta, que comportam dez lajes ou três vigas por viagem.

Na figura 19, o ponto A representa o acesso ao canteiro de obras, enquanto que o ponto B identifica o local da fábrica. O traçado em azul indica o percurso realizado pelos transportadores. Para não confundir o leitor, cabe ressaltar que a produção de **degraus** e **vigas jacaré** ocorreu na central de pré-moldados no interior do próprio canteiro de obras. A tabela 3 apresenta o quantitativo de peças pré-fabricadas de concreto, o que totaliza **16.910 elementos**.

O quantitativo de equipamentos disponíveis para a aplicação na estrutura dos elementos pré-fabricados de concreto foi constante ao longo do período estudado. Não houve variação no número de caminhões para transporte interno das peças e na quantidade de guias e guindastes utilizados para a montagem. O quadro 3 disponibiliza a relação de equipamentos disponíveis.

Figura 19 – Distância entre a fábrica e o canteiro de obras



(fonte: elaborado pelo autor)⁶

Tabela 3 – Quantitativo de peças pré-fabricadas

	LAJES (un)	VIGAS JACARÉ (un)	VIGAS (un)	DEGRAUS (un)
Norte	1479	124	187	420
Nordeste	804	68	97	194
Leste 1	1072	64	165	208
Leste 2	1270	72	193	235
Sudeste	805	68	97	194
Sul	1521	124	187	405
Sudoeste	1056	68	137	194
Oeste 1	1327	64	211	199
Oeste 2	1600	72	247	225
Noroeste	1058	68	137	194
TOTAL	11992	792	1658	2468

(fonte: elaborado pelo autor)

⁶ Elaborado pelo autor com base no *site* GOOGLE MAPS.

Quadro 3 – Listagem de equipamentos disponíveis

EQUIPAMENTO	USO
CAMINHÃO MUNCK 11 TON IEB-6023	Transporte interno
CAMINHÃO MUNCK 10 TON HQR-7209	Transporte interno
CAMINHÃO MUNCK 14 TON IMK-4317	Transporte interno
CAMINHÃO MUNCK 14 TON IPF-3054	Transporte interno
GUINDASTE 30 TON HIM-2438 AMARELO	Montagem
GUINDASTE 70 TON GT-70/1T	Montagem
GUINDASTE 220/1 TON MSP-6034 VERMELHO	Montagem
GUINDASTE 220/2 TON OCZ-1768 VERMELHO	Montagem
GUINDASTE 400 TON VERMELHO	Montagem

(fonte: elaborado pelo autor)

As guias operavam no lado externo da estrutura, fixas (figura 20), enquanto que os guindastes eram locados no centro da arena conforme a necessidade dos setores (figura 21). A figura 22 apresenta a locação e o raio de ação das seis guias disponíveis.

Figura 20 – Guia operando na parte externa da estrutura



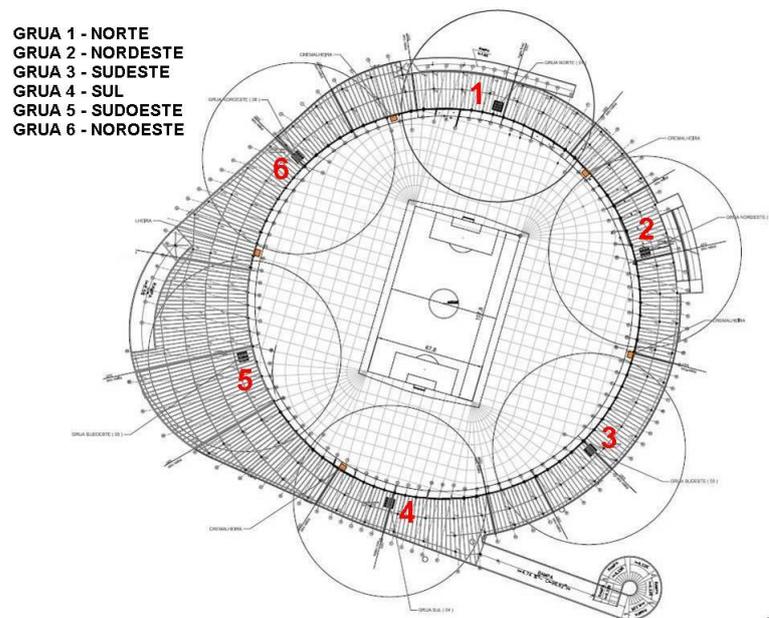
(fonte: foto do autor)

Figura 21 – Guindaste em operação (centro)



(fonte: foto do autor)

Figura 22 – Locação e raio de ação das guias



(fonte: empresa estudada, 2012)

5.1.4 *Layout* do canteiro de obras

O canteiro de obras ocupava uma área de aproximadamente 380.000 m², conforme apresentado na figura 23. Apesar de sua grande extensão, uma porção significativa desta área era destinada à central de pré-moldados, local onde eram produzidos os degraus e as vigas

jacaré da estrutura. Ainda, outra grande parte do canteiro era destinada ao estoque destas peças.

O canteiro ainda contava com central de concreto, fábrica de peças de concreto para pavimentação e área destinada à subestação de energia elétrica. Além disso, havia áreas administrativas, como escritórios para a gerência, alojamentos, refeitório, almoxarifado, serviços gerais e enfermaria.

Figura 23 – *Layout do canteiro de obras*



(fonte: elaborado pelo autor)⁷

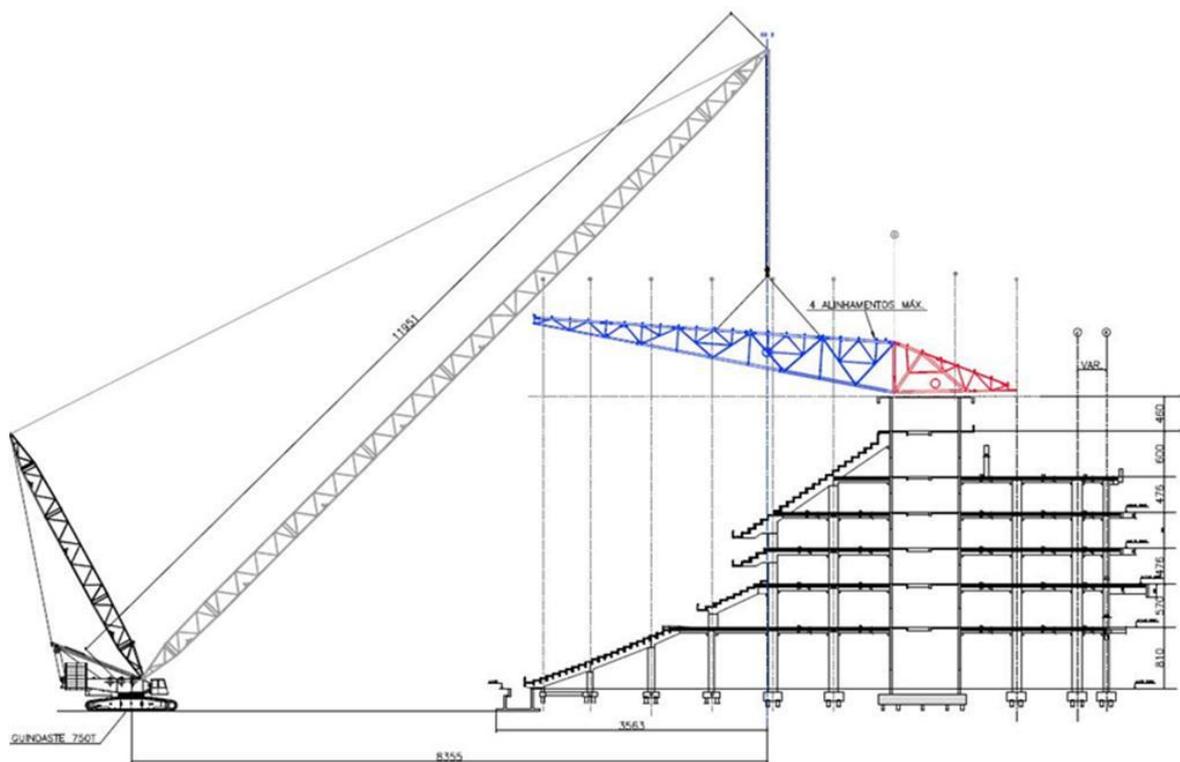
5.2 IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS E CONSEQUÊNCIAS

Iniciada a montagem da estrutura de concreto, a gerência de produção da obra notou que os níveis de produtividade deveriam ser aumentados para que houvesse tempo hábil de execução de todas as suas etapas subsequentes. A instalação da cobertura do estádio, por exemplo, exigia o término da montagem para que os espaços ocupados com guias, guindastes e estoque de materiais fossem liberados e, assim, os equipamentos específicos utilizados para montagem da cobertura (guindastes de grande porte) pudessem ser alocados (figura 24).

⁷ Elaborado pelo autor com base no *site* GOOGLE MAPS.

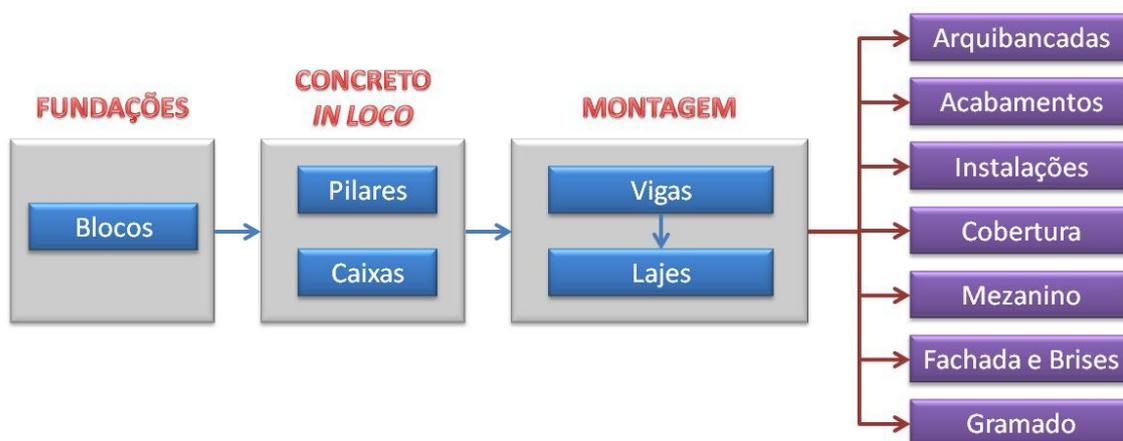
Ainda, atividades como acabamentos (revestimento cerâmico, pisos, pinturas, etc.) e instalações (redes hidráulica e elétrica, *sprinklers*, ar condicionado, etc.) somente poderiam ser iniciadas, evidentemente, caso a montagem em determinado setor ou pavimento estivesse concluída. Assim, devido ao grande número de etapas subseqüentes e dependentes à montagem da estrutura do estádio (figura 25), tornou-se necessária a identificação dos gargalos e interferências existentes neste processo, para que fossem alcançados níveis satisfatórios de produtividade.

Figura 24 – Montagem da cobertura



(fonte: empresa estudada, 2012)

Figura 25 –Etapas subsequentes à montagem



(fonte: elaborado pelo autor)

5.2.1 Problemas

Os itens expostos a seguir são aqueles considerados como fatores que, de certa forma, atuavam como gargalos ao processo executivo de montagem da estrutura pré-fabricada. As adversidades identificadas podem ser intrínsecas ao contexto, como a variedade de peças do projeto e o grau de qualificação da mão de obra envolvida, bem como passíveis de medidas corretivas, como as questões referentes ao estoque e à fabricação dos elementos.

5.2.1.1 Variedade

A variedade de tipos de lajes e vigas foi uma das dificuldades recorrentes ao processo de montagem. De um total de 11.992 lajes alveolares, 6.953 eram de famílias diferentes. Estas variações ocorriam em função dos três valores de sobrecarga existentes para cálculo em projeto (50, 70 e 100 kN/m²) e por variações geométricas (comprimento, largura e espessura). Ainda, existiam também diferentes disposição e combinação das armaduras de protensão nas peças produzidas.

O problema maior ocorreu nos setores de transição, por apresentarem geometria curva. Neste caso, inserem-se os setores nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste, já que a distância entre os eixos dos pilares era variável, exigindo a execução de lajes de diferentes dimensões e com chanfro nas extremidades. Assim, contabilizando-se a quantidade de peças em cada um destes setores, existiam 3.723 lajes alveolares distintas entre si (tabela 4). A figura 26 ilustra estas condições, apresentando a modulação do nível N02 do setor nordeste.

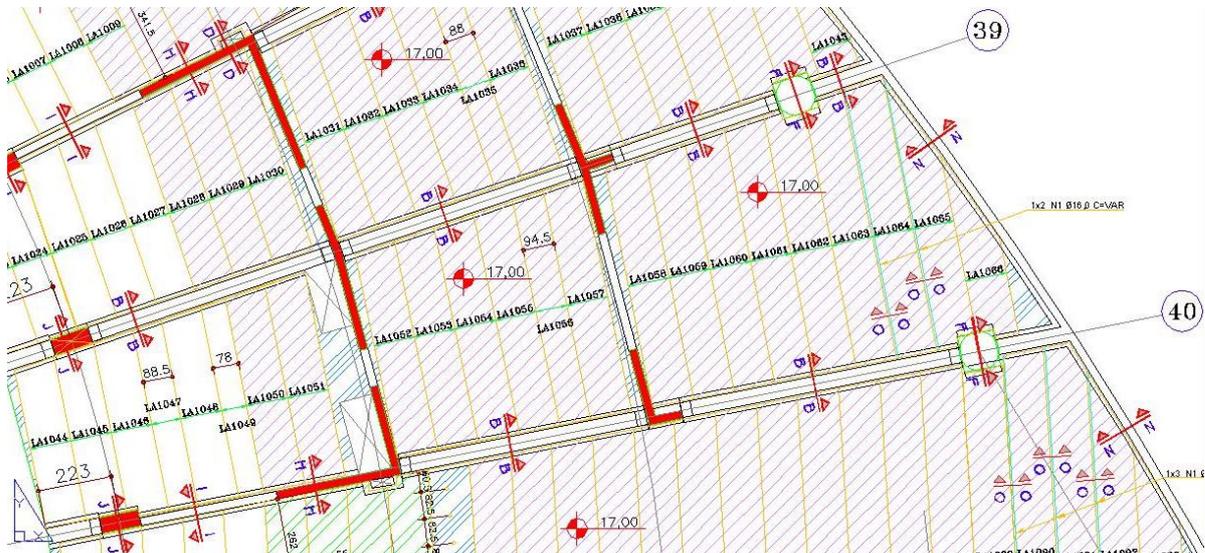
Tabela 4 – Quantitativo de lajes (un)

SETOR/NÍVEL	N0B	N01	N02	N03	N04	N05	TOTAL
NE	-	231	172	164	138	99	804
NO	249	237	171	164	138	99	1058
SE	-	232	172	164	138	99	805
SO	249	238	168	164	138	99	1056
							3723

(fonte: elaborado pelo autor)

A própria aplicação dos pré-fabricados à estrutura foi, de certa forma, prejudicada em função de uma variedade de peças tão grande, já que a montagem seguia a modulação estabelecida. Caso houvesse uma maior homogeneidade de peças, poderiam ser utilizadas aquelas peças que estivessem mais próximas às frentes de serviço, sem haver perda de tempo em atividades que não agregam valor, como processos de procura, localização e sinalização dos elementos estruturais.

Figura 26 – Modulação das lajes alveolares do setor nordeste



(fonte: empresa estudada)

5.2.1.2 Identificação

A denominação de cada uma das lajes alveolares era sequencial, a partir de números de um a quatro algarismos, conforme o setor. A codificação das vigas era alfanumérica, atendendo à seguinte lógica, conforme o exemplo apresentado na figura 27.

Figura 27 – Denominação das vigas



(fonte: elaborado pelo autor)

Por vezes, as lajes e vigas produzidas em fábrica chegavam à obra sem identificação, devido a não colocação ou extravio das etiquetas identificadoras, inviabilizando seu uso imediato. Nesses casos, eram necessárias a verificação da armadura das lajes ou vigas e a conferência das dimensões destas peças.

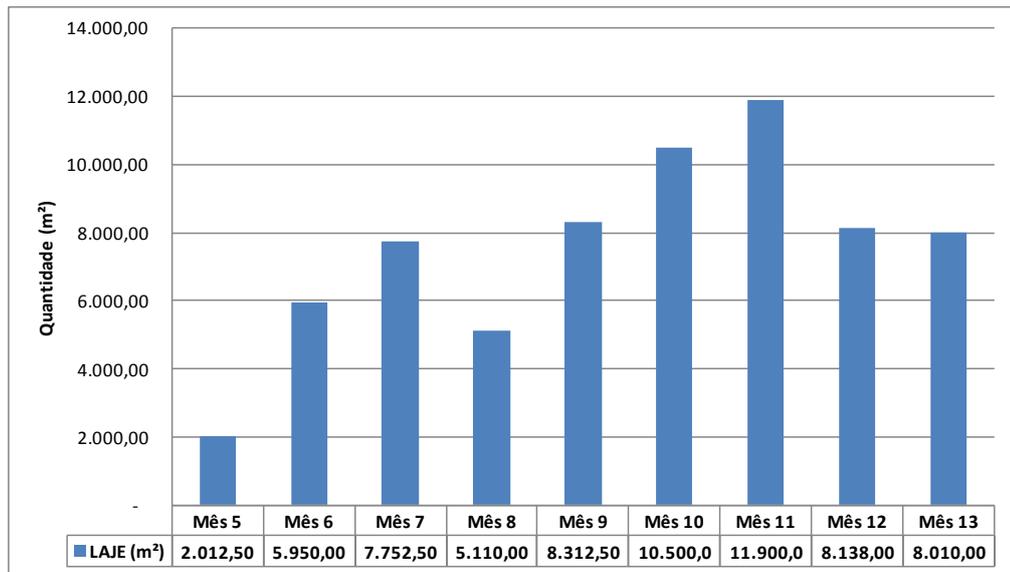
5.2.1.3 Fabricação

Os problemas que referentes à fabricação não estavam ligados à qualidade das peças, já que eram inspecionadas previamente, antes do envio à obra. O principal gargalo encontrado referia-se à programação e ao sequenciamento da fabricação. Com o intuito de otimizar os recursos materiais, a empresa responsável pela produção das lajes e vigas executava todas as peças de um mesmo modelo ou família no mesmo período de tempo.

No caso das lajes, era assim realizado para que se produzissem todas as lajes com a mesma disposição e combinação de armadura, uma vez que, no processo de fabricação, a pista era inteiramente concretada para que, posteriormente, fossem executados os cortes conforme a dimensão especificada das lajes. Assim, mesmo aquelas lajes que não seriam utilizadas no curto prazo eram enviadas para a obra.

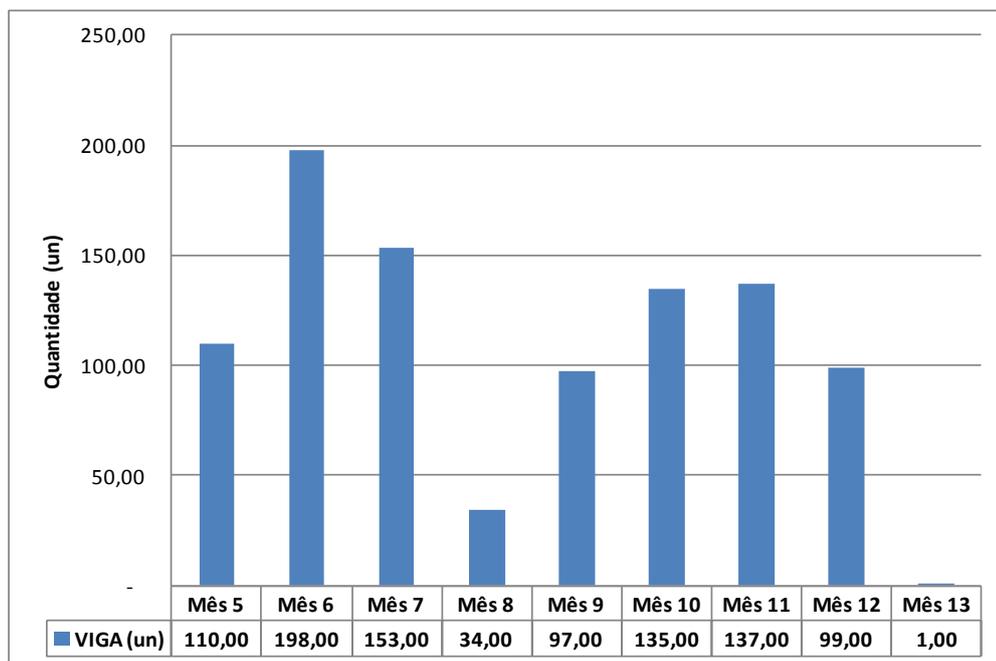
Para as vigas, eram produzidas as que exigiam a mesma fôrma ou poucas alterações, para que se pudesse fabricar todas aquelas de mesma armadura, formato ou dimensão. Como não havia alterações dimensionais de um nível para o outro, ou seja, a viga *VP 81FG48* possuía forma e dimensão idênticas às vigas *VP 82FG48*, *VP 83FG48*, *VP 84FG48* e *VP 85FG48*, foram produzidas e enviadas à obra inclusive as vigas que seriam utilizadas somente a médio ou longo prazo. As figuras 28 e 29 apresentam o histograma de produção de vigas e lajes alveolares.

Figura 28 – Histograma de fabricação de lajes



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 29 – Histograma de fabricação de vigas



(fonte: elaborado pelo autor)

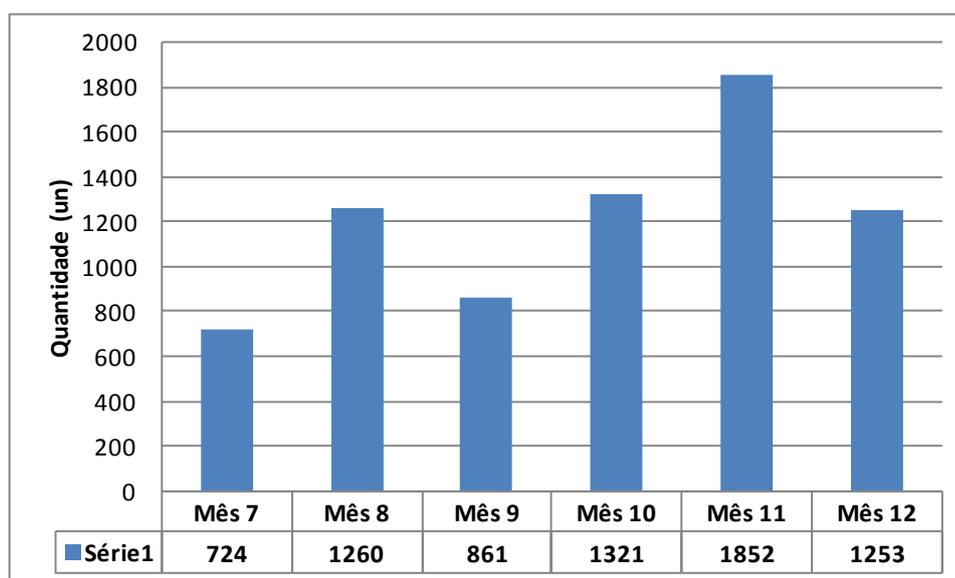
5.2.1.4 Estoque

O problema da fabricação descrito acima se refletia nos estoques. Uma quantidade tão grande de lajes e vigas enviadas para a obra acarretou problemas como falta de espaço para armazenagem, perda de etiquetas de identificação das peças e desgaste devido a intempéries. No entanto, o maior problema acarretado foi a ocorrência de um estoque excessivamente

volumoso, o que provocou, conseqüentemente, outros problemas. A figura 30 apresenta o quantitativo de peças pré-fabricadas existentes no canteiro de obras, por mês, contabilizando lajes alveolares e vigas T e L.

O primeiro dos problemas refere-se à locação dos volumes de peças: foram necessários três locais distintos para armazenagem das peças, distantes entre si (vide figura 23). O segundo problema é referente ao próprio controle do estoque, uma vez que a realização de inventários tornava-se mais dispendiosa conforme o aumento da quantidade de peças armazenadas. Assim, aliado aos problemas de não identificação das peças, o controle do estoque tornou-se impreciso.

Figura 30 – Quantidade de peças em estoque, por mês



(fonte: elaborado pelo autor)

5.2.1.4 Movimento

A necessidade de alocar equipamentos próximos aos setores nas quais haveria montagem provocava, muitas vezes, a relocação de peças para outros locais. O mesmo efeito era visto em função do empilhamento das peças, sendo necessárias movimentações nas pilhas para que se pudesse acessar a peças requeridas.

5.2.1.5 Qualificação profissional

A escassez de mão de obra ocorrida no mercado da construção civil local provocou a contratação, por parte da empresa responsável pela obra, de profissionais provenientes de

outras regiões do País. Verificou-se que aproximadamente 90% dos 1,3 mil operários envolvidos no setor de produção da obra tinham como origem outros estados do Brasil.

Dessa forma, em função das diferenças climáticas e culturais, muitos destes acabavam por retornar à sua localidade de origem, uma vez que não se adaptavam às condições locais. Assim, houve alto índice de rotatividade da mão de obra envolvida: o período médio de permanência destes profissionais foi de seis meses em obra.

A baixa disponibilidade de mão de obra também provocou a contratação de profissionais sem experiência ou oriundos de outras áreas. Na própria obra, verificou-se a relocação de operários de outras formações para o processo de montagem da estrutura pré-fabricada, conforme apresentado no quadro 4. O item *função* indica a formação original do colaborador, enquanto que *descrição* especifica a sua ocupação efetiva dentro do processo.

Quadro 4 – Apropriação de campo

GUINDASTE 30			GUINDASTE 70		
FUNÇÃO	NOME	DESCRIÇÃO	FUNÇÃO	NOME	DESCRIÇÃO
Operador	Alexsandro	Operador	Operador	João	Operador
Servente	Sandro	Montagem	Armador	Antonio	Amarração
Carpinteiro	Marcos	Montagem	Servente	Lucas	Amarração
Sinaleiro	Alex	Montagem	Carpinteiro	Luiz	Isolamento
Servente	Francisco	Montagem			
Servente	Antonio	Montagem			
GUINDASTE 220-1			GUINDASTE 400		
FUNÇÃO	NOME	DESCRIÇÃO	FUNÇÃO	NOME	DESCRIÇÃO
Operador	Cipriano	Operador	Operador	Cláudio	Operador
Armador	Marcos	Montagem	Montador	Sampaio	Montagem
Pedreiro	Luis Carlos	Montagem	Armador	Gilson	Montagem
Sinaleiro	Rodrigo	Montagem	Sinaleiro	Adriano	Montagem
Servente	Rogério	Amarração	Auxiliar	Anderson	Amarração
Servente	Jiovane	Amarração	Auxiliar	Neto	Amarração
Servente	Damião	Isolamento	Servente	Everton	Isolamento

(fonte: elaborado pelo autor)

5.2.2 Consequências

Os problemas anteriormente descritos provocaram uma série de consequências ao sistema de montagem da estrutura portante. No curto prazo, o quesito operacional do processo teve uma série de não conformidades, enquanto que, no longo prazo, alguns ajustes ao planejamento da obra tiveram que ser realizados.

5.2.2.1 Desperdício de tempo

A ocorrência de estoques volumosos em obra, bem como sua descentralização em três áreas distintas, contribuiu para que o processo de busca e localização das peças pré-fabricadas dentro do próprio canteiro se tornasse lento. Ainda, nesse contexto insere-se a própria identificação das peças pré-fabricadas, contempladas apenas com etiquetas.

5.2.2.2 Espera

Por vezes, em função da não localização das peças necessárias, optou-se pela não colocação da peça especificada conforme o projeto estrutural (figura 31). Esta situação ocorria quando não havia, em estoque, peças que pudessem substituí-las, seja por não apresentarem as mesmas características de dimensão, sobrecarga e geometria, ou pela impossibilidade de se realizar adaptações, como chanfros e cortes.

Figura 31 – Pavimento em espera para conclusão



(fonte: foto do autor)

5.2.2.3 Retrabalho

A baixa especialização da mão de obra envolvida no processo de montagem, conforme apresentado no item 5.2.1.5, era um dos fatores que apareciam como entraves ao processo de montagem. Neste aspecto, as principais dificuldades apresentadas pelos envolvidos eram:

- a) interpretação de projetos;
- b) leitura de inventários;
- c) localização de peças no estoque;

d) cumprimento da programação estabelecida.

Assim, como principal consequência, foram verificados erros de montagem, com a utilização de peças que não atendiam à modulação estabelecida ou seu posicionamento no projeto estrutural. Em função disso, houve a necessidade de retrabalho, através da substituição da peça montada de forma equivocada pela a qual fora especificada corretamente.

5.2.2.4 Excesso de processamento

A necessidade pelo cumprimento de prazos e metas levava, em função da não localização da peça especificada em projeto, ao uso de outra similar em sua posição, com a realização de adaptações. Nestes casos, eram realizadas inspeções visuais aos estoques, onde eram selecionadas peças que poderiam substituir as faltantes. A partir disso, eram verificadas armadura e dimensão das peças e, caso houvesse necessidade, estas eram enviadas para a máquina de corte, onde seriam realizados ajustes dimensionais e chanfros (figura 32).

Ainda, foram encomendadas à empresa fabricante lajes alveolares de dimensão e sobrecarga máximas, com o intuito de passarem pelo mesmo processo acima. No entanto, nos casos em que estas soluções não puderam ser aplicadas, as lajes pré-fabricadas foram substituídas pelo método de moldagem *in loco*, exigindo cimbramento e execução de fôrmas e armaduras no próprio local.

Figura 32 – Resíduos de corte de lajes



(fonte: foto do autor)

5.2.2.5 Aumento de custos

Os casos em que houve substituição das peças faltantes por outras do estoque provocou a necessidade do posterior reenvio daquelas que, de fato, foram utilizadas. Esta situação e as encomendas por lajes de dimensão e sobrecarga máximas provocaram, portanto, um aumento nos custos com materiais pré-fabricados. O quadro 5 apresenta a relação de vigas que tiveram que ser novamente produzidas pela fabricante, em função de terem sido utilizadas de forma a substituir as faltantes.

Quadro 5 – Relação de peças substituídas

ESPECIFICADA	UTILIZADA
12FE70	62EF23
12FE75	62EF26
12GF75	14GF70
13KF80	14KF80
21ED89	23GF89
21KF84	22KF84
22HG89	23HG89
23FG87	14KF80
33KI91	34KI91
42IH05	44IH03
42IH06	44IH01
82HI43	84FG46
82HI44	84HI46
83JK48	84JK48
92HI53	94HI49
92HI54	94HI51

(fonte: elaborado pelo autor)

5.2.2.6 Replanejamento das atividades

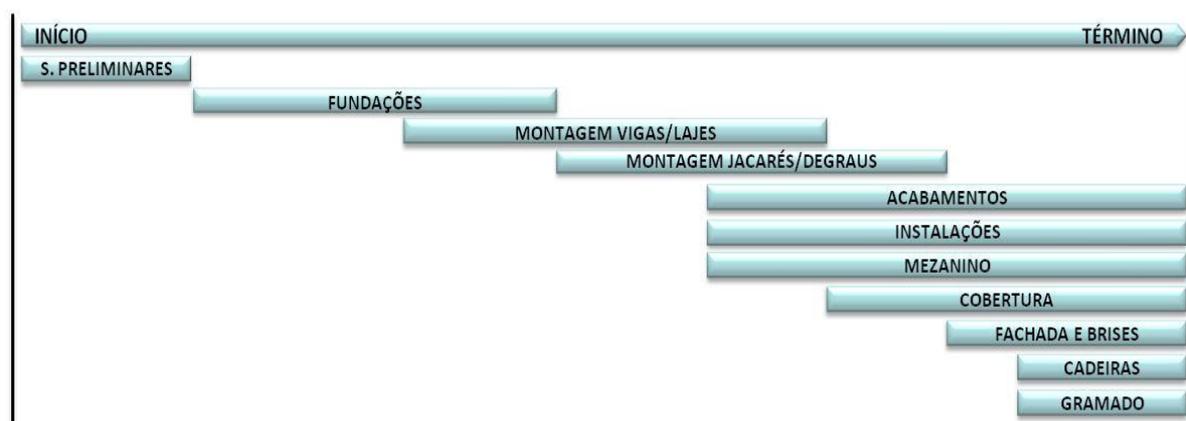
Por fim, como consequências dos problemas apresentados anteriormente, tem-se o replanejamento das etapas da obra. Primeiramente, o cronograma passou por processo de readequação, no qual o prazo de montagem da estrutura de concreto foi estendido em três meses, considerando-se, para isto, uma meta de montagem de **100 peças/dia**, entre lajes, vigas, degraus e vigas jacaré. Para fins de comparativo, são apresentados, posteriormente, os valores de produtividade ocorridos nos primeiros períodos de montagem.

Ainda, como resultado desta readequação do cronograma, as etapas subsequentes passaram a ser simultâneas (figura 33). Desta forma, foi necessário um perfeito planejamento para que

não houvesse interferência entre cada uma das frentes de serviço. Gruas, guindastes para montagem de pré-fabricados, guindastes para a cobertura e equipamentos de terraplenagem utilizados na preparação do gramado passariam a atuar num mesmo espaço, no centro do campo.

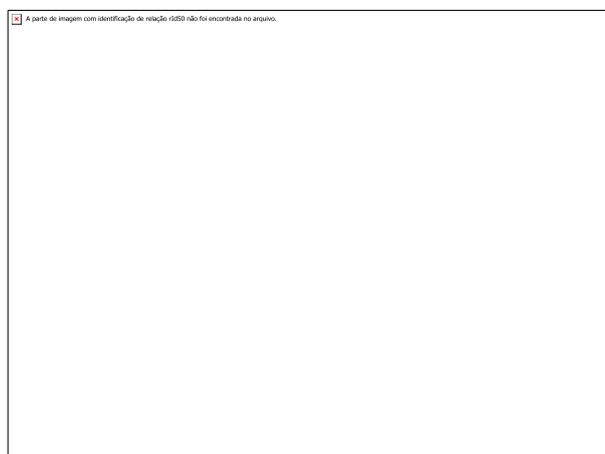
Outra estratégia tomada para agilizar o processo de montagem foi a opção pela execução das escadas moldadas *in loco* na parte final da obra. Inicialmente, havia a previsão de execução das caixas de contraventamento e, juntamente a esta etapa, a execução das escadas previstas nestes espaços. Porém, optou-se por executar apenas as paredes destas caixas, em detrimento à realização de todo o conjunto estrutural. Desta forma, a elevação dos níveis poderia ser agilizada e, conseqüentemente, o processo de montagem, pois o projeto estrutural contempla vigas que são apoiadas em consoles solidários às caixas de contraventamento (figura 34).

Figura 33 – Cronograma de atividades



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 34 – Execução de escadas moldadas *in loco*



(fonte: foto do autor)

Por fim, a partir do diagrama apresentado na figura 35, podem ser relacionados os problemas verificados ao longo do processo de montagem dos pré-fabricados e as consequências geradas para a obra.

Figura 35 – Relação problemas-consequências

		CONSEQUÊNCIAS					
		Desperdício tempo	Espera	Retrabalho	Excesso processamento	Aumento custos	Replanejar atividades
P R O B L E M A S	Variedade	X			X	X	X
	Identificação	X	X	X	X	X	
	Fabricação	X				X	
	Estoque	X	X			X	
	Movimento	X	X				
	Qualificação profissional	X		X	X		

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3 DESCRIÇÃO DAS MEDIDAS IMPLEMENTADAS

Primeiramente, é necessário apresentar o **cenário inicial** do processo de montagem da estrutura para que, ao longo da descrição das medidas implementadas, seja possível visualizar as intervenções realizadas neste cenário. A figura 36 apresenta as etapas da montagem, desde a fabricação à obra, bem como os processos realizados na montagem propriamente dita. O processo tinha como origem a fábrica, onde as peças pré-fabricadas (lajes alveolares e vigas T e L) eram produzidas. Estes elementos, após o seu período de cura (24 horas), eram estocados na própria fábrica por curtos períodos, até que estivessem disponibilizadas condições de transporte e envio.

A área 1 hachurada na figura 37 representa o local de **recebimento** dos itens enviados à obra. Nesta área, havia a conferência das entregas segundo as notas fiscais emitidas e aguardo dos

veículos (caminhões) para acessarem ao canteiro de obras, onde haveria o descarregamento nas áreas de estoque (figura 38). Esta liberação era gerenciada pelo Encarregado-Geral de Montagem, que ordenava a prioridade de entrada das cargas recebidas e local para descarregamento das peças.

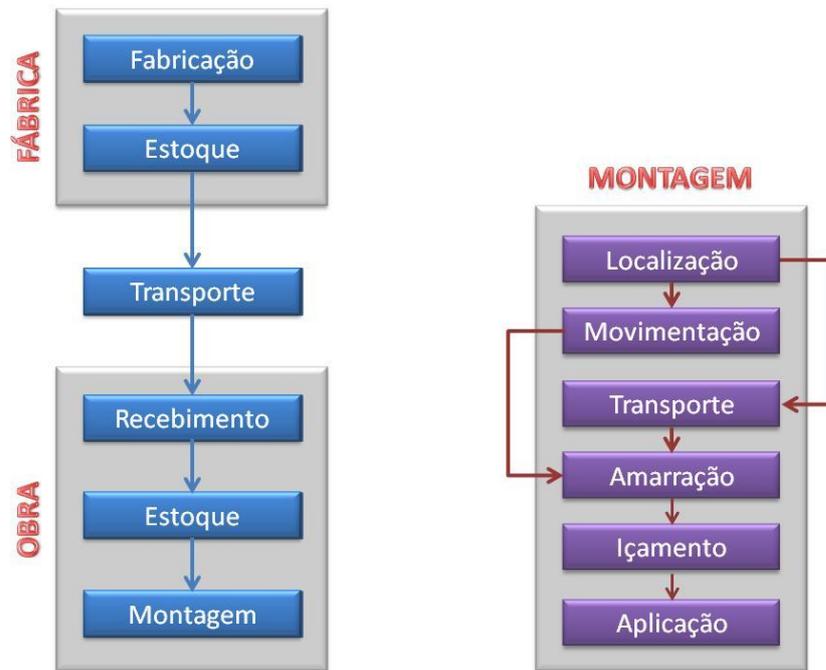
Neste cenário inicial do processo, estavam designados três locais para **estoque** das peças pré-fabricadas, identificados pelas áreas 2, 3 e 4 hachuradas na figura 37. A área 2 era anexa à própria área de recebimento, enquanto que a área 3 era o centro do estádio, onde futuramente seria o local do gramado (figura 39). A área 4 era a mais distante do local de montagem, abrigava exclusivamente vigas e possuía dois locais de acesso: um de forma independente (acesso pela via urbana) e outro pelo interior do próprio canteiro.

Nestes locais, as lajes eram armazenadas em pilhas, de no máximo dez elementos, enquanto que as vigas permaneciam apoiadas diretamente no solo. Cabe ressaltar que, no cenário inicial de montagem, não havia ferramentas para controle das peças em estoque, como a realização de mapeamentos ou inventários.

A partir deste contexto apresentado, a gerência de produção da obra implementou medidas ao processo de montagem, como forma de se remover as interferências ou problemas existentes no cenário inicial. Tais medidas foram implementadas em diferentes períodos ao longo do processo, acompanhado do monitoramento da produtividade obtida devido a cada uma delas.

No que se refere aos cargos e hierarquias do processo de montagem da obra estudada, é apresentado um organograma, conforme a figura 40. Dentro dessa organização, as posições de gerência de obra, gerência de produção e responsável de montagem eram ocupadas por profissionais formados em Engenharia Civil.

Figura 36 – Fluxograma do processo de montagem: cenário inicial



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 37 – Áreas para recebimento e estoque de pré-fabricados

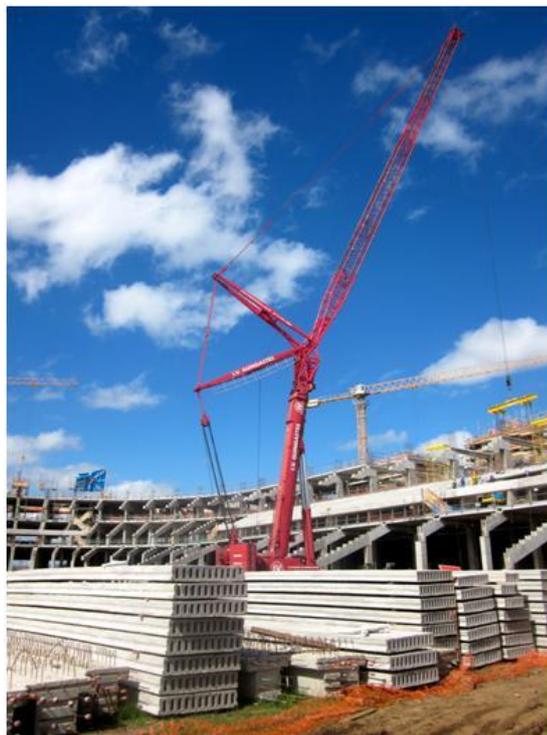
(fonte: elaborado pelo autor)⁸⁸ Elaborado pelo autor com base no *site* GOOGLE MAPS.

Figura 38 – Detalhe: área 1



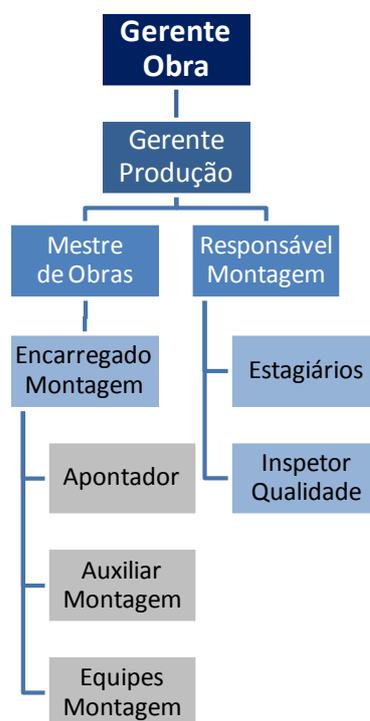
(fonte: foto do autor)

Figura 39 – Detalhe: área 3



(fonte: foto do autor)

Figura 40 – Organograma da obra estudada



(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.1 Inventários

A implementação da realização de inventários periódicos instituiu-se como uma maneira de contabilização das peças pré-fabricadas nos estoques dentro do canteiro de obras. O processo consistiu-se em realizar a contagem física e mapeamento das vigas T e L e lajes alveolares, uma vez que estas estavam distribuídas em três áreas distintas de armazenagem. O quadro 5 apresenta a organização de suas ações.

O ciclo inicial de realização dos inventários foi, em seu primeiro mês de implementação, semanal. Em função do aumento da quantidade de peças pré-fabricadas em estoque e da quantidade de movimentações destas nestes locais, nos meses seguintes, seu ciclo tornou-se diário. Os responsáveis por sua atualização eram dois estagiários da obra.

Esta medida teve como principais funções, primeiramente, o mapeamento das peças, para que os processos de busca e localização das vigas e lajes estivessem facilitados às equipes de montagem. Ainda, foi fundamental para planejamento e controle de pedidos das peças à fábrica responsável por sua produção e, também, para solucionar os problemas ocorridos ao

longo do processo de montagem na obra, conforme apresentado no item 5.2.2 deste trabalho. O quadro 6 apresenta o método 5W2H para a realização dos inventários.

Quadro 6 – 5W2H para inventários

O quê?	Invenários
Quem?	Estagiários
Onde?	Estoques
Quando?	Mês 7 ao mês 10
Por quê?	Mapear e controlar estoques
Como?	Contagem física
Quanto custa?	-

(fonte: elaborado pelo autor)

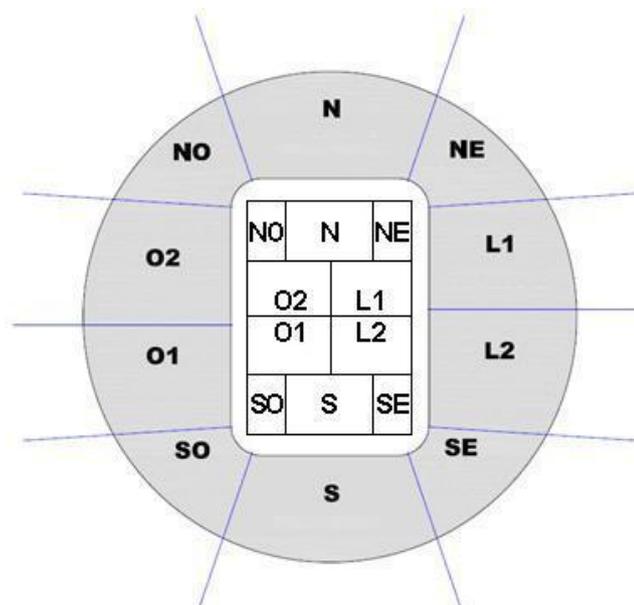
5.3.2 Estoque central setorizado

Neste cenário, optou-se por estocar as peças pré-fabricadas no centro do campo. O processo tinha início com o recebimento e posterior envio das cargas para este local, que passou a funcionar como estoque. No entanto, a fim de que houvesse uma melhor organização e estivessem reduzidos os tempos com transporte interno e movimentações das vigas e lajes dentro do próprio canteiro de obras, implementou-se uma setorização deste espaço de armazenagem.

Portanto, ficou definido que os elementos pré-fabricados seriam descarregados próximos aos seus setores de utilização na estrutura, conforme apresentado na figura 41. Assim, mesmo que uma carga de lajes alveolares ou vigas fosse mesclada, ou seja, houvesse peças de setores distintos, o caminhão que as transportava percorreria o centro do campo e as descarregaria nos seus locais apropriados.

Ainda, aqueles elementos cujo posicionamento estaria nas bordas da estrutura poderiam ser descarregados no entorno do estádio, para que estivessem facilitadas as condições de montagem. Como objetivo, mais uma vez, estava a necessidade de evitar movimentações e transporte e, além disso, utilizar as seis gruas que estavam distribuídas ao longo do perímetro da estrutura (vide figura 22) no processo de montagem.

Figura 41 – Organização de estoques (centro do campo)



(fonte: elaborado pelo autor)

No entanto, notou-se que o passivo de peças pré-fabricadas já existentes no centro do campo, oriundos de cenários anteriores onde não havia esta setorização de descarregamento, acabou impondo algumas restrições à perfeita implementação desta medida. Primeiramente, as vigas e lajes alveolares que eram estocadas próximas ao seu setor de utilização na estrutura estavam mescladas com outras de setores distintos. Conseqüentemente, eram realizadas inúmeras movimentações de peças neste espaço, tanto para localizá-las e aplicá-las à estrutura quanto para alocar guindastes próximos às frentes de montagem.

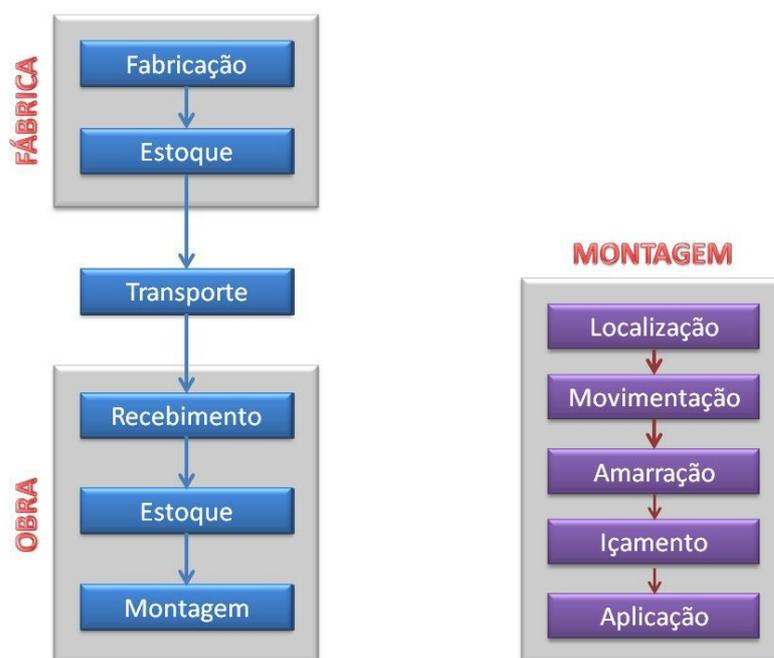
A figura 42 apresenta o fluxograma do processo de montagem resultante desta etapa. O quadro 7 apresenta os principais aspectos referentes à organização do estoque setorizado.

Quadro 7 – 5W2H para o estoque setorizado

O quê?	Estoque central setorizado
Quem?	Encarregado de montagem
Onde?	Centro do campo
Quando?	Mês 8 e mês 9
Por quê?	Organizar e centralizar estoques
Como?	Setorização do estoque
Quanto custa?	-

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 42 – Fluxograma do estoque central setorizado



(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.3 Sinergia fábrica/obra

Com o intuito de alinhar a produção dos pré-fabricados às reais necessidades da obra, optou-se por se intervir na produção das vigas e lajes alveolares na fábrica, ordenando-se as séries de peças que deveriam ser prioritárias para execução. Assim, foi apresentada à empresa responsável pela pré-fabricação uma programação de fabricação a ser seguida, definida por aqueles elementos que seriam utilizados no curto prazo para a obra.

Como critério utilizado para determinação das séries de fabricação, escolheu-se a armadura de protensão das lajes alveolares. Primeiramente, foram verificadas as combinações de cabos de protensão existentes nas peças que seriam produzidas para os setores que, no curto prazo, deveriam ser montados. Portanto, agruparam-se as lajes conforme as seguintes combinações:

- a) 5 Φ 9,5 mm;
- b) 5 Φ 12,7 mm;
- c) 7 Φ 9,5 mm;
- d) 7 Φ 12,7 mm.

Este processo contemplou, inicialmente, 230 lajes alveolares do nível **N01** do setor **noroeste** e 550 do nível **N02**, nos setores **sul**, **sudoeste**, **oeste 1** e **noroeste**, que estavam programadas

para serem montadas no curto prazo. Enquanto isso, para atender à demanda de longo prazo da obra, as demais peças foram produzidas em outras unidades fabris da mesma empresa responsável pela sua fabricação, em plantas industriais de Santa Catarina e do Paraná.

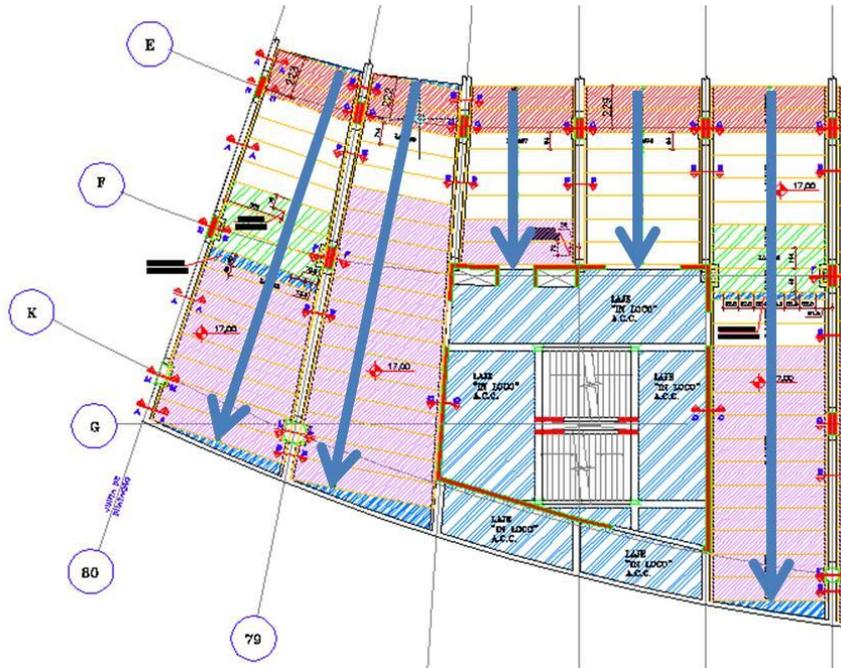
O método de desenvolvimento constituiu-se na análise do projeto estrutural dos referidos pavimentos, nos quais foi realizado um levantamento daquelas peças que deveriam ser produzidas. A partir disso, buscou-se o projeto executivo destas lajes, sendo possível consultar a armadura de protensão de cada uma das lajes e, a seguir, agrupá-las segundo este critério.

A segunda etapa desta medida implementada constituiu-se na introdução de uma programação de expedição dos elementos produzidos. Para isto, seguiu-se a ordem e a sequência de montagem das lajes alveolares na estrutura, correspondente pela aplicação dos elementos que estão na **borda interna** (voltada para o centro do campo) em direção àqueles mais próximos à **fachada** (figura 43).

Portanto, pôde-se definir, a partir deste ordenamento implementado, como estariam distribuídas as peças pré-fabricadas nos caminhões que fariam o transporte fábrica-obra. As cargas a serem entregues em obra passaram a ser programadas conforme a montagem a ser realizada e, com isso, tornou-se possível, inclusive, eliminar a necessidade de armazenar estas peças em estoques, tanto na fábrica quanto no canteiro de obras

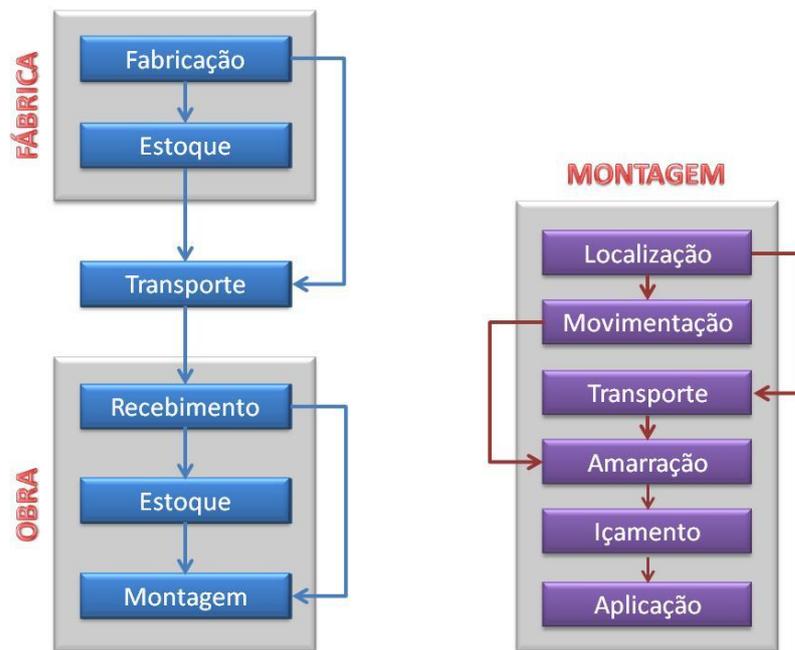
Assim, por vezes, foi possível suprimir a etapa estoque ao longo do processo de fabricação e montagem dos pré-fabricados, conforme apresentado no fluxograma da figura 44. Depois de produzidas, as lajes alveolares poderiam seguir diretamente para a obra e, neste local, após recebidas e realizada a conferência das notas fiscais para verificação da correta programação das cargas, foi possível enviá-las diretamente para montagem, no centro do campo ou no seu entorno, conforme o posicionamento das peças no pavimento. . O quadro 8 apresenta os principais aspectos referentes à sinergia fábrica/obra.

Figura 43 – Ordem de aplicação dos pré-fabricados à estrutura



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 44 – Fluxograma da sinergia fábrica/obra



(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 8 – 5W2H para a sinergia fábrica/obra

O quê?	Sinergia fábrica/obra
Quem?	Responsável Montagem
Onde?	Fábrica
Quando?	Mês 10
Por quê?	Alinhar planejamento entre fábrica e obra
Como?	Programação de fabricação e expedição
Quanto custa?	-

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.4 Identificação visual de peças

Como forma de se aprimorar o processo de localização das peças, foi instituída a identificação visual das peças pré-fabricadas. Esta medida constituiu-se em, primeiramente, atribuir uma cor distinta para cada um dos dez setores do projeto (quadro 9). A partir disto, as vigas e lajes alveolares foram identificadas, com tinta *spray*, conforme seu setor e eixo de aplicação na estrutura (figura 45).

Quadro 9 – Código de cores

COR ESPECIFICADA	SETOR
Colorgin Luminosa 757	NORTE
Colorgin Luminosa 756	NORDESTE
Colorgin Luminosa 760	LESTE 1
Mr. Cor - Verde escuro	LESTE 2
Colorgin Luminosa 758	SUDESTE
Colorgin Luminosa 761	SUL
Colorgin Metal Link 57	SUDOESTE
Mr. Cor - Preto	OESTE 1
Mr. Cor - Alumínio	OESTE 2
Mr. Cor - Azul escuro	NOROESTE

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 45 – Identificação dos pré-fabricados

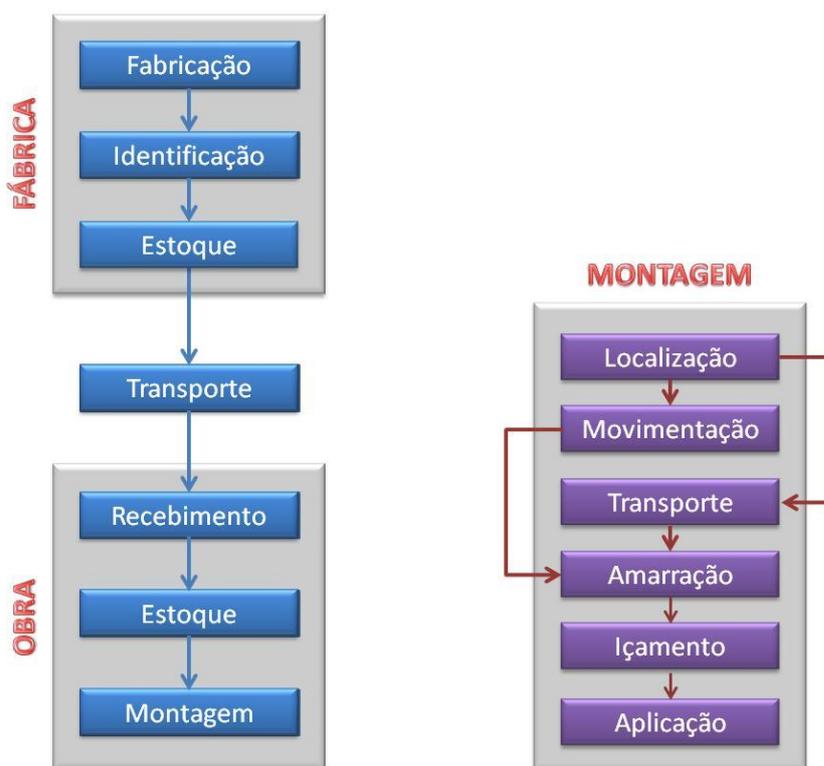


(fonte: fotos do autor)

Inicialmente, este processo foi implementado no estoque já existente e, depois de concluída esta fase, ficou definido que o Inspetor de Qualidade da construtora seria o responsável por esta etapa. A identificação ocorreria no momento em que as peças pré-fabricadas eram liberadas da fábrica para transporte ou estoque, para que quando chegassem à obra já pudessem ser imediatamente identificadas. Desta forma, o fluxograma do processo de montagem ficou definido conforme apresentado na figura 46.

Ainda, como forma complementar ao processo, estendeu-se a identificação com tinta *spray* a todos os pilares da linha C da estrutura (vide figura 16). Esta medida fora implementada para que as equipes do processo de montagem pudessem associar os setores da estrutura com a identificação das peças pré-fabricadas, a fim de se superar as dificuldades dos envolvidos com a leitura de projetos. A figura 47 apresenta a identificação realizada nos pilares, conforme o padrão de colorização estabelecido.

Figura 46 – Fluxograma da identificação visual de peças



(fonte: elaborado pelo autor)

O principal objetivo destas medidas foi facilitar o processo de localização, em estoque, das vigas e lajes a serem utilizadas. A relação de peças a serem montadas era passada pelo Encarregado-Geral de Montagem às equipes de cada guindaste, as quais então designavam dois componentes do grupo para localização das peças e posterior envio para o devido local.

A partir de observações do processo, notou-se elevado desperdício de tempo nesta etapa, em função de que a única identificação presente nas peças eram pequenas etiquetas anexadas à elas. Assim, com esta nova medida, era possível a identificação de forma mais ágil, além de que assegurava o envio das peças para seu correto setor de utilização, justamente em função de haver esta compatibilização entre a coloração do elemento estrutural com os setores da edificação. O quadro 10 apresenta os principais aspectos referentes à identificação visual de peças.

Figura 47 – Identificação dos pilares da linha C



(fonte: fotos do autor)

Quadro 10 – 5W2H para a identificação visual de peças

O quê?	Identificação visual de peças
Quem?	Inspetor Qualidade
Onde?	Fábrica
Quando?	Mês 11 ao mês 15
Por quê?	Localizar peças; auxiliar operários
Como?	Identificação das peças por cores
Quanto custa?	Custo das tintas <i>spray</i>

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.5 Estoque anexo ao canteiro de obras

As áreas inicialmente destinadas para estoque (áreas 2, 3 e 4 hachuradas da figura 37) foram desativadas, para que fossem concentradas em um único local específico, correspondente à área 1 da figura 48.

Desta forma, o fluxograma do processo de montagem foi modificado (figura 49), uma vez que a etapa de localização das peças ficou restrita ao local de estoque, ao passo que, no local de

montagem, ficaram estabelecidas apenas as operações de amarração, içamento e aplicação à estrutura. Assim, verificou-se maior ritmo às equipes de montagem, em função de que o processo tornou-se mais sistematizado e repetitivo, já que as peças a serem montadas já estavam em espera e sequencialmente ordenadas.

Figura 48 – Novo *layout* do canteiro de obras

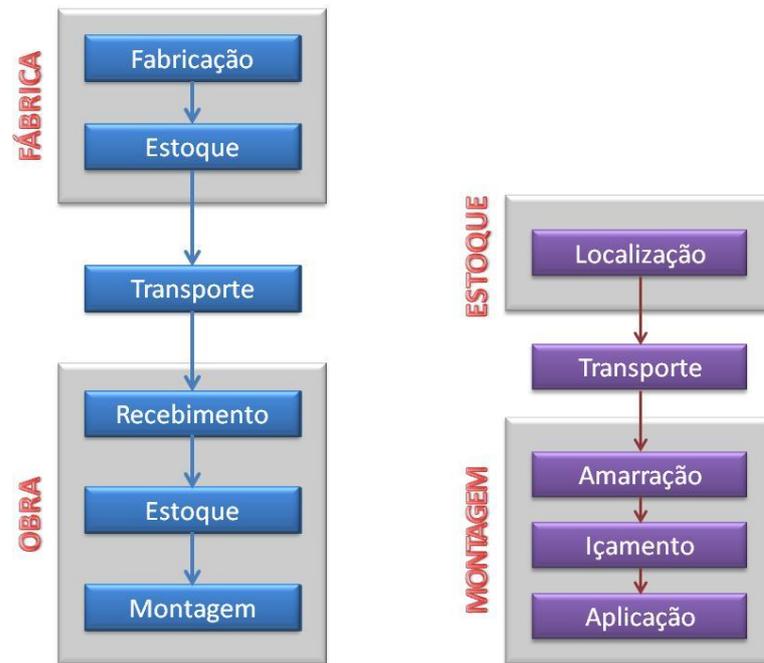


(fonte: adaptado de KALSING, 2012)

As equipes de cada guindaste, neste cenário, se dividiam entre aqueles que localizavam as vigas e as lajes no estoque e os que participavam da montagem propriamente dita. Localizadas as peças programadas para serem montadas, estas eram enviadas por caminhão Munck (figura 50) ou carreta até o centro do campo, sendo descarregadas próximas à frente de montagem e, preferencialmente, seguindo a ordem de aplicação, estabelecida no projeto estrutural.

Assim, foi possível contemplar mais de uma peça (apenas para o caso das lajes alveolares) em uma mesma operação de amarração, içamento e aplicação à estrutura, conforme apresenta a figura 51. O quadro 11 apresenta os principais aspectos referentes ao estoque anexo ao canteiro de obras.

Figura 49 – Fluxograma do estoque anexo ao canteiro de obras



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 50 – Carregamento de peças via caminhão Munck



(fonte: foto do autor)

Figura 51 – Aplicação de duas peças simultaneamente



(fonte: foto do autor)

Quadro 11 – 5W2H para o estoque anexo ao canteiro

O quê?	Estoque anexo ao canteiro
Quem?	Auxiliar de Montagem
Onde?	Área anexo ao canteiro
Quando?	Mês 12 ao mês 15
Por quê?	Sistematizar do processo de montagem
Como?	Envio direto das peças para esta área
Quanto custa?	-

(fonte: elaborado pelo autor)

Seguindo ao processo de coleta de dados em obra, apresenta-se a planilha utilizada para compilação dos dados (tabela 5). A quantidade de elementos pré-fabricados montados era controlada diariamente, através de inspeções visuais e consultas ao projeto estrutural de cada nível/setor. A verificação da montagem era realizada duplamente: tanto por um Apontador da empresa responsável pela obra quanto pelo autor deste trabalho, a fim de que não houvesse erros por ambas as partes.

5.4 COLETA DE DADOS

A planilha utilizada para a coleta dos dados referentes às quantidades de vigas e lajes montadas na estrutura é apresentada na tabela 5. As colunas dessa tabela, numeradas de 1 a 8, correspondem aos seguintes aspectos:

- a) **coluna 1:** corresponde à data em que a peça pré-fabricada foi aplicada à estrutura;
- b) **coluna 2:** apresenta a denominação da peça, seguindo as padronizações já apresentadas anteriormente, para vigas e lajes;

- c) **coluna 3:** especifica o elemento estrutural montado: viga, laje, viga jacaré ou degrau;
- d) **coluna 4:** quantifica as peças montadas na estrutura;
- e) **coluna 5:** indica em qual dos dez setores da estrutura a peça especificada foi montada;
- f) **coluna 6:** indica, para vigas T, L e jacaré, o eixo em que foram aplicadas, enquanto que, para lajes alveolares e degraus, entre quais eixos foram assentadas;
- g) **coluna 7:** especifica em qual dos sete níveis de pavimentos a peça pré-fabricada foi montada;
- h) **coluna 8:** indica qual dos equipamentos disponíveis foi utilizado para o içamento da peça, dentre guas e guindastes.

Tabela 5 – Modelo de planilha utilizada para registro dos dados coletados

DATA (1)	Nº (2)	PEÇA (3)	QUANT. (4)	SETOR (5)	EIXO (6)	NÍVEL (7)	EQUIPAMENTO (8)
11/10/2011	VA72010	Jacaré	1	Nordeste	41	17,00	220t
11/10/2011	LA365	Laje	2	Leste 1	43-44	11,30	70t
11/10/2011	LA366	Laje	2	Leste 1	43-44	11,30	70t
11/10/2011	LA365	Laje	2	Leste 1	44-45	11,30	70t
11/10/2011	LA366	Laje	3	Leste 1	44-45	11,30	70t
11/10/2011	LA387	Laje	3	Leste 1	47-48	11,30	30t
11/10/2011	LA381	Laje	2	Leste 1	47-48	11,30	30t
11/10/2011	LA265	Laje	2	Leste 2	48-49	11,30	30t
11/10/2011	LA270	Laje	2	Leste 2	49-50	11,30	30t
11/10/2011	LA278	Laje	3	Leste 2	50-51	11,30	30t
11/10/2011	LA270	Laje	2	Leste 2	50-51	11,30	30t
11/10/2011	LA278	Laje	3	Leste 2	51-52	11,30	30t
11/10/2011	LA270	Laje	2	Leste 2	51-52	11,30	30t
11/10/2011	LA278	Laje	2	Leste 2	52-53	11,30	30t
11/10/2011	LA270	Laje	2	Leste 2	52-53	11,30	30t
11/10/2011	LA270	Laje	3	Leste 2	53-54	11,30	30t
11/10/2011	LA278	Laje	2	Leste 2	53-54	11,30	30t
13/10/2011	VP 62EF22	Viga	1	Norte	22	17,00	220t
13/10/2011	VP 62FG22	Viga	1	Norte	22	17,00	220t
13/10/2011	VP 62EF23	Viga	1	Norte	23	17,00	220t
13/10/2011	VP 62FG23	Viga	1	Norte	23	17,00	220t
13/10/2011	VP 01GH56	Viga	1	Sudeste	56	11,30	Grua

(fonte: elaborado pelo autor)

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os efeitos à produtividade de montagem em função das medidas implementadas. Como ferramentas de análise, têm-se os dados coletados diretamente em obra, referentes à quantidade de peças pré-fabricadas montadas diariamente. Assim, torna-se possível verificar a eficácia das estratégias e procedimentos implantados, conforme o período e as condições desejáveis de comparação.

Com o intuito de facilitar a análise para o leitor, apresenta-se, inicialmente, um *timeline* com os cenários verificados ao longo de todo o período de montagem da estrutura do estádio, que perdurou por 15 meses (figura 52). No entanto, cabe ressaltar que as medidas implementadas foram introduzidas somente a partir do **mês 7**. A partir disso, é possível relacionar as práticas adotadas em cada um dos períodos com os dados presentes nos gráficos e tabelas deste capítulo.

Figura 52 – *Timeline*: cenários de montagem



(fonte: elaborado pelo autor)

A partir disso, é possível analisar a produtividade de montagem, tanto diária quanto mensalmente, conforme a necessidade. Assim, apresenta-se a tabela 6, na qual os dados de quantidade de peças montadas por mês (para o turno diurno de serviço) estão discriminados segundo cada um dos componentes pré-fabricados da estrutura analisada: vigas T e L, lajes alveolares, degraus de arquibancada e vigas jacaré. A figura 53 ilustra os valores obtidos.

Tabela 6 – Quantidade global de peças montadas, por mês

Mês	Vigas T/L	Lajes alveolares	Degraus	Vigas jacaré	TOTAL
Mês 1/Mês 2	199	1170	33	75	487
Mês 3					213
Mês 4					280
Mês 5					497
Mês 6					369
Mês 7	63	277	5	24	369
Mês 8	184	513	2	27	726
Mês 9	80	687	6	18	791
Mês 10	111	778	51	30	970
Mês 11	113	644	82	63	902
Mês 12	183	937	83	67	1270
Mês 13	114	735	128	45	1022
Mês 14	109	936	198	89	1332
Mês 15	67	585	293	67	1012
Mês 15	0	163	337	35	535

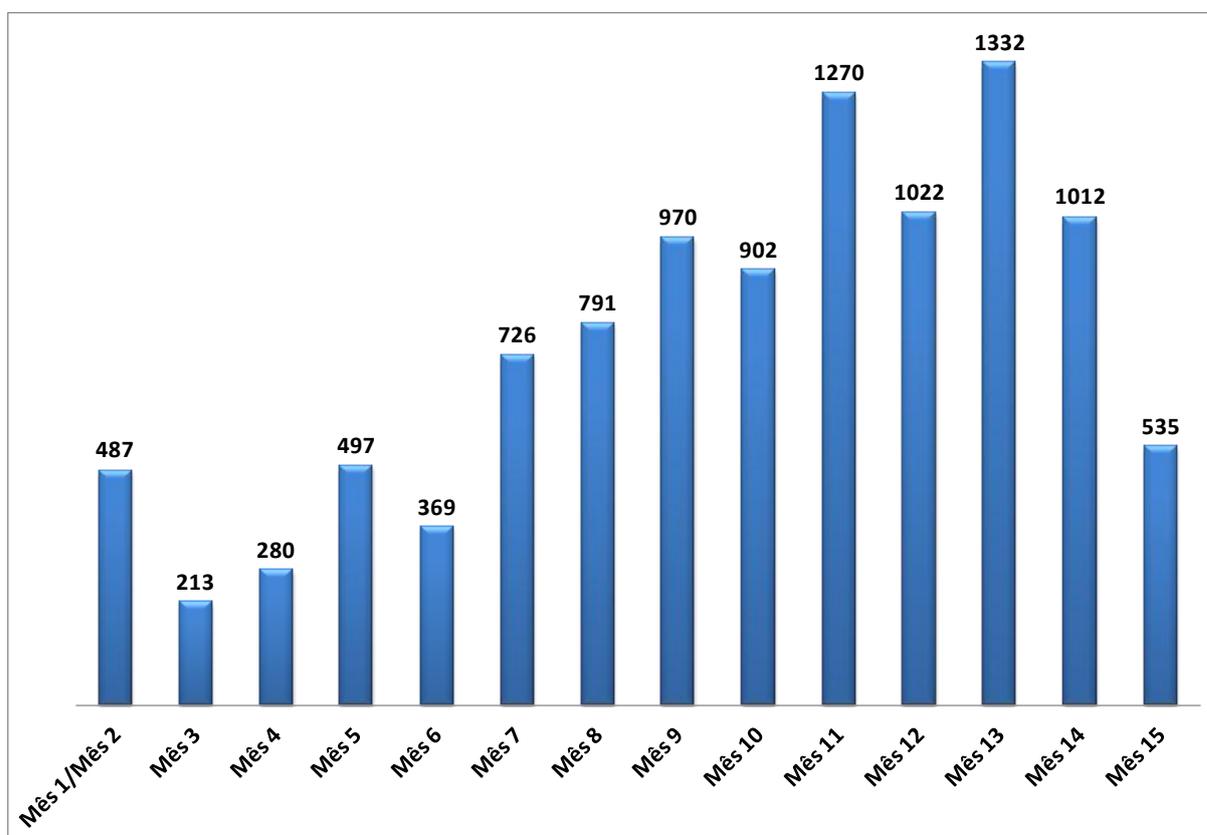
(fonte: elaborado pelo autor)

Com base nos dados apresentados na tabela 6, podem ser extraídos os resultados referentes apenas às **vigas T e L** e às **lajes alveolares**, elementos que interessam mais especificamente a este trabalho (tabela 7, figura 54). Com estes dados, é possível estabelecer a comparação de produtividade proposta.

Tomando-se como base as diretrizes estabelecidas para esta pesquisa, as quais definiram que a quantidade de vigas e lajes montadas por mês pode ser considerada como parâmetro de produtividade, destaca-se o **mês 11**, com 1.120 unidades. Este período é caracterizado pela implementação da **identificação visual de peças**, praticada com exclusividade, ou seja, não estava associada a nenhuma outra medida.

Sob a mesma ótica, destaca-se ainda o **mês 13**, com 1.045 unidades. Este cenário consolida a eficácia da **identificação visual de peças**, uma vez que, neste mês, tal prática é associada à destinação de um **estoque anexo** à obra para armazenagem das peças pré-fabricadas.

Figura 53 – Total global de peças montadas, por mês



(fonte: elaborado pelo autor)

Com base nos dados de quantidade de montagem (peças/mês) apresentados nas tabelas e gráficos anteriores, podem-se ordenar os períodos analisados conforme sua produtividade e se estabelecer um *ranking*, conforme apresenta a tabela 8. Os meses 14 e 15 foram excluídos deste ordenamento, pois, nestes casos, foram montadas apenas as peças faltantes para zerar o saldo pendente de montagem.

De maneira geral, pode-se perceber, através dos dados obtidos, que houve aumento de produtividade a partir da inserção das novas práticas apresentadas neste trabalho. Nessa comparação, o *ranking* apresentado na tabela 8 aponta para uma diferença de 70% nos valores obtidos entre a alternativa que apresentou maior eficácia (identificação visual) e o cenário inicial de montagem.

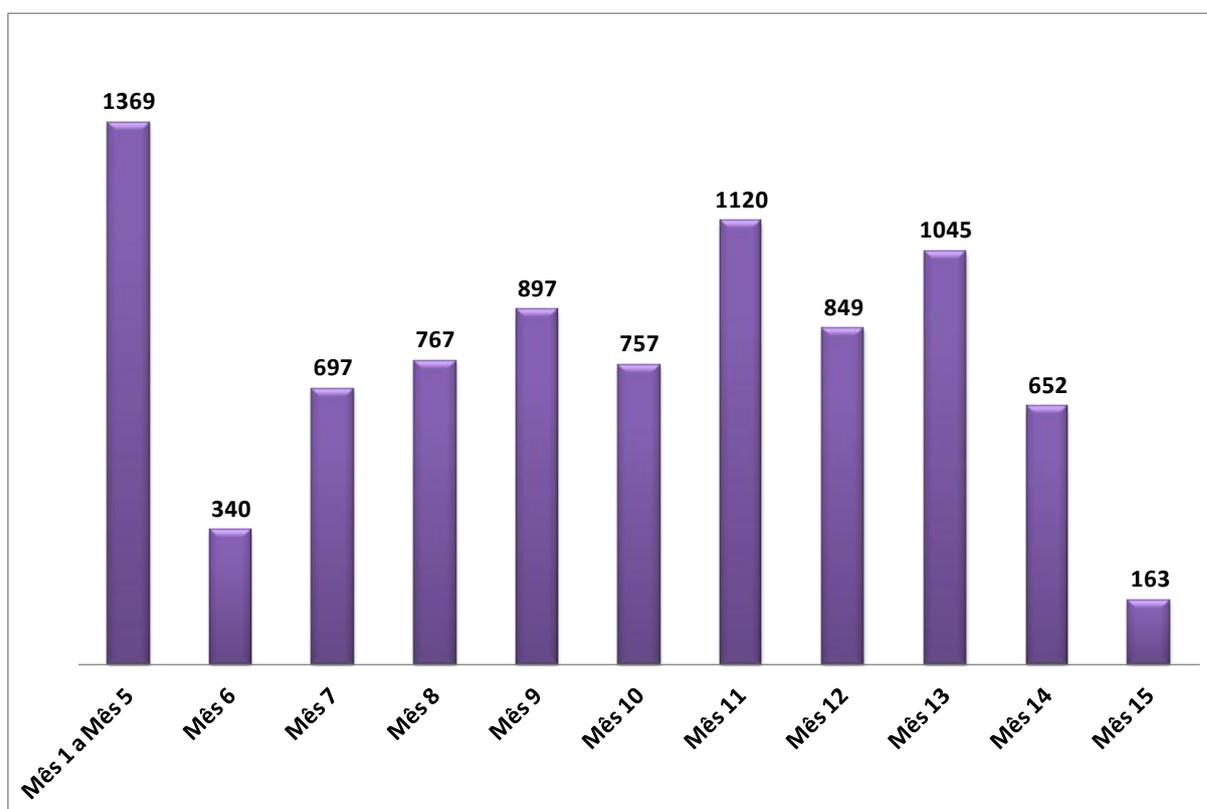
No entanto, deve-se ressaltar que inúmeros são os aspectos que compõem a conjuntura de um canteiro de obras. Nesse sentido, outros fatores podem ter colaborado para o aumento de produtividade notado, como, por exemplo, o efeito aprendizagem, fenômeno bastante comum na execução dos serviços da construção civil.

Tabela 7 – Quantidade de vigas e lajes montadas, por mês

Mês	Vigas T/L	Lajes alveolares	TOTAL
Mês 1	199	1170	1369
Mês 2			
Mês 3			
Mês 4			
Mês 5			
Mês 6	63	277	340
Mês 7	184	513	697
Mês 8	80	687	767
Mês 9	111	778	889
Mês 10	113	644	849
Mês 11	183	937	1120
Mês 12	114	735	849
Mês 13	109	936	1045
Mês 14	67	585	652
Mês 15	0	163	163

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 54 – Total de vigas e lajes montadas, por mês



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 8 – *Ranking* de produtividade

Classificação	Mês	Medida	Qtde. (peças/mês)	Variação
1º	Mês 11	Identificação visual	1120	-
2º	Mês 13	Ident. visual/Estoque anexo	1045	-7%
3º	Mês 9	Inventários/Estoque central	889	-21%
4º	Mês 12	Ident. visual/Estoque anexo	849	-24%
5º	Mês 10	Inventários/Sinergia	849	-24%
6º	Mês 8	Inventários/Estoque central	767	-32%
7º	Mês 7	Inventários	697	-38%
8º	Mês 6	Cenário inicial	340	-70%

(fonte: elaborado pelo autor)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho, de verificar a eficácia das intervenções realizadas na aplicação de pré-fabricados no canteiro de obras estudado, foi atingido. Como novas práticas implementadas, citam-se a realização de inventários de estoque, mudanças no *layout* do canteiro de obras, programação de fabricação e expedição dos componentes conforme a necessidade da obra e identificação visual das peças pré-fabricadas.

Essas medidas foram introduzidas a partir de um cenário inicial do processo de montagem, no qual não havia estratégias específicas para cada um dos aspectos que envolvem esta etapa, como controle de estoques, programação de fabricação, expedição e montagem dos pré-fabricados e organização do canteiro de obras. Desta forma, os índices de produtividade apresentados neste período mostraram-se insatisfatórios, o que poderia comprometer as etapas subsequentes à montagem da estrutura, em função do curto prazo de execução que haveria para executá-las.

Na busca pelas possíveis causas dos deficientes índices de produtividade, puderam ser destacados alguns itens fundamentais. Primeiramente, a grande variedade de peças pré-fabricadas distintas especificadas em projeto, em função das características peculiares de um estádio de futebol moderno, a complexidade para organizá-las em um estoque e, dentro deste estoque, a dificuldade de localização das peças requeridas para montagem.

Assim, como forma de combater ou amenizar as interferências identificadas, as medidas apresentadas neste trabalho foram implementadas ao processo. Nesse contexto, os índices de produtividade sofreram alterações ao longo do período de montagem, conforme cada um dos cenários compostos pelas novas estratégias. De maneira geral, houve aumento na quantidade de peças aplicadas à estrutura, quando comparado com as condições do cenário inicial.

No entanto, é cabível comparar os resultados obtidos entre cada uma das medidas introduzidas. Desta forma, destacou-se a identificação visual de peças, representada pelos meses 11, 13 e 12. Com esta medida, dois fatores que provocavam interferências ao processo de montagem foram vencidos: a dificuldade para localização das peças e o baixo grau de instrução dos operários participantes.

Os cenários nos quais a identificação visual é somada à adoção de um estoque anexo ao canteiro – em detrimento ao estoque no centro do estádio, também devem ser destacados. Nesses casos, o processo de montagem dos pré-fabricados tornou-se sistematizado e repetitivo para os envolvidos, já que as peças a serem montadas estavam sequencialmente em espera, próximas às frentes de serviço, conforme sua ordem de aplicação à estrutura.

No mês 10, a empresa responsável pela obra buscou alinhar o processo produtivo em fábrica às reais necessidades da obra. Índices satisfatórios de produtividade também foram atingidos com esta medida, no entanto, acabou por desgastar a relação entre as partes envolvidas, em função das constantes intervenções da construtora na linha de produção.

Ainda, como consequência, parte da produção teve que ser dirigida para unidades fabris em outros estados, gerando aumento de custos com transporte (repassados para a construtora) e maior período para entrega das peças na obra. Assim, esta medida seria passível de um maior período de análise, já que contempla as recomendações apresentadas na literatura – programação de fabricação, expedição e montagem das peças pré-fabricadas, formas de promover uma maior sinergia entre fábrica e canteiro de obras.

A realização de inventários surgiu como a primeira tentativa de alteração do panorama inicial do processo de montagem. Seu principal objetivo foi o controle dos estoques e o mapeamento de seus itens, colaborando assim para o processo de busca e localização das peças pré-fabricadas no canteiro de obras. No entanto, a partir da inserção da identificação visual e da concentração do estoque apenas na área anexa ao canteiro, houve a supressão de sua realização.

É possível, ainda, estimar a tendência de conclusão do processo de montagem caso as medidas não tivessem sido implementadas. Tomando-se como parâmetro a média de produtividade do cenário inicial, cerca de 340 peças/mês, a montagem das 13.650 peças pré-fabricadas (11.992 lajes e 1658 vigas) seria concluída em 20 meses (considerando-se dois turnos de trabalho por mês), tornando inviável a execução da obra no prazo estimado. Justifica-se assim o sucesso das medidas implementadas.

Os objetivos secundários também foram atingidos. A descrição do sistema construtivo de pré-fabricados observado no canteiro de obras estudado foi realizada, através da apresentação dos procedimentos executados nessa etapa e dos meios utilizados para alcançá-los, como mão de

obra, equipamentos e *layout* do canteiro de obras. Também foi contemplada a identificação das interferências existentes à montagem de pré-fabricados, bem como foram apresentadas, justamente através das medidas implementadas no próprio canteiro de obras em análise, soluções e propostas para amenizá-los.

Cabe ressaltar que tais medidas foram introduzidas ao longo do processo, como forma de combater as interferências identificadas. Nesse contexto, pode-se justificar a não adoção prévia dessas práticas, já que alguns destes problemas, bem como as peculiaridades envolvidas no projeto, poderiam não ser tão evidentes no planejamento de médio prazo da obra.

Em função da eminente realização da Copa do Mundo no Brasil, em 2014, estádios antigos estão sendo reformados e arenas multiuso estão em fase de construção, viabilizados pelo uso intensivo de pré-fabricados em concreto. Portanto, devido aos resultados satisfatórios obtidos com as medidas implementadas aqui apresentadas, espera-se que este trabalho possa, ainda, colaborar com ideias e sugestões a serem introduzidas previamente ao processo construtivo de novos complexos esportivos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO. **Manual de montagem de pré-moldados**. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 15873**: coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010.

BIRULÉS, F. B. Situación actual de las técnicas de prefabricación e industrialización de la construcción de edificios en España. In: MATERIALES, MAQUINARIA Y METODOS PARA LA CONSTRUCCIÓN (Org.). **Prefabricación e industrialización en la construcción de edificios**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1968. p. 1-36.

CASADO, C. Prefabricación en la construcción de edificios y naves industriales. In: MATERIALES, MAQUINARIA Y METODOS PARA LA CONSTRUCCIÓN (Org.). **Prefabricación e industrialización en la construcción de edificios**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1968. p. 234-255.

CASSOL PRÉ-FABRICADOS. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <joaopedro89@hotmail.com> em 12 mar. 2012.

CORREA, M. 5W2H para planos de ação. **Tiespecialistas.com**, [S. I.], não paginado, 19 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.tiespecialistas.com.br/2012/06/5w2h-para-planos-de-acao>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

DIAS, M. A. P. **Administração de materiais**: uma abordagem logística. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1993.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. 1. ed. (2. reimpres.). São Carlos: EESC-USP, 2000.

FARIA, R. Estádio João Havelange. **Revista Técnica**: a revista do engenheiro civil, São Paulo, ano 15, n. 123, p. 44-50, jun. 2007.

_____. Soluções estruturais. **Revista Técnica**: a revista do engenheiro civil, São Paulo, ano 17, n. 150, p. 22-28, set. 2009.

FORMOSO, C. T. **Planejamento e Controle da Produção em empresas de construção**. Porto Alegre: NORIE/UFRGS, 2001. Notas de aula da disciplina Edificações III, do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.gerenciamento.ufba.br/MBA%20Disciplinas%20Arquivos/Gestao%20Producao/Texto2UFBA2007%20PCP.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2012.

KALSING, V. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <joaopedro89@hotmail.com> em 3 abr. 2012.

KONCZ, I. T. **Manual de la construcción prefabricada:** con elementos de hormigón armado y de hormigón pretensado, construcción, cálculo y ejecución de las obras. Madri: Blume, c1968. tomo 1.

_____. **Construcción industrializada.** Madri: Blume, 1977.

KRAJEWSKI, L.; MALHORTA, M.; RITZMAN, L. **Administração de produção e operações.** 8. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS LTDA. **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2007.

OLIVEIRA, T. Plano de cargas. **Revista Técnica:** a revista do engenheiro civil, São Paulo, ano 15, n. 123, p. 40-43, jun. 2007.

PIGOZZO, B. N.; FERREIRA, M. de A.; SERRA, S. M. B. Evolução dos pré-fabricados de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PROJETO-PESQUISA-PRODUÇÃO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1., 2005, São Carlos. **Anais eletrônicos...** São Carlos: NET-PRÉ, 2005. Não paginado. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/1enppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf>. Acesso em: 18 maio 2012.

PRIETO, C. A. Fabricación, transporte y montaje de elementos prefabricados. In: REVISTA MATERIALES, MAQUINARIA Y METODOS PARA LA CONSTRUCCIÓN (Org.). **Prefabricación e industrialización en la construcción de edificios.** Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1968. p. 61-128.

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

ROCHA, A. Para ampliar e modernizar estádios brasileiros, especialista espanhol em arenas esportivas defende uso de pré-moldados de concreto. **Piniweb.com**, [S. l.], não paginado, 4 nov. 2009. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/tecnologia-materiais/para-ampliar-e-modernizar-estadios-brasileiros-especialista-espanhol-em-arenas-155370-1.asp>>. Acesso em: 3 abr. 2012.

ROCHA, D. **Fundamentos técnicos da produção.** São Paulo: Makron Books, c1996.

SAYEGH, S. Como especificar: estruturas pré-fabricadas de concreto. **Revista Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, ano 26, n. 209, p. 78-82, ago. 2011.

SHEARD, R. **The Stadium:** architecture for new global culture. Singapore: Periplus, [2005].

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** 1. ed. São Paulo: Atlas, 1997.

TAMAKI, L. Salto produtivo. **Revista Técnica:** a revista do engenheiro civil, São Paulo, ano 18, n. 157, p. 38-42, abr. 2010.

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

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.

VENTURINI, J. Como se faz: lajes alveolares. **Revista Equipe de Obra**: como construir na prática, São Paulo, ano 7, n. 37, p. 28-29, jun. 2011.

VILAGUT, F. **Prefabricados de hormigón**. Barcelona: Gustavo Gili, 1975. tomo 1.