

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

Bruno Jasniewicz Livi

**ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO:
PLANEJAMENTO DA EXECUÇÃO VISANDO REDUÇÃO NO
TEMPO DE CICLO**

Porto Alegre
dezembro 2014

BRUNO JASNIEWICZ LIVI

**ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO:
PLANEJAMENTO DA EXECUÇÃO VISANDO REDUÇÃO NO
TEMPO DE CICLO**

Trabalho de Diplomação a ser 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: Eduardo Luis Isatto

Porto Alegre
dezembro 2014

BRUNO JASNIEWICZ LIVI

**ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO:
PLANEJAMENTO DA EXECUÇÃO VISANDO REDUÇÃO NO
TEMPO DE CICLO**

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, dezembro de 2014

Prof. Eduardo Luis Isatto
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Wanessa Roberta Fazinga (UEL)
Mestre em Engenharia pela Universidade Estadual de Londrina

Engº Rogério Garcia Bañolas
Mestre em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Eduardo Luis Isatto (UFRGS)
Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Luís e Gisele, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Eduardo Isatto, orientador deste trabalho, pelos conselhos, dedicação e entusiasmo transmitidos durante a elaboração deste trabalho. Agradeço à professora Carin Schmitt pela dedicação e seriedade em seu trabalho.

Agradeço ao Marcelo Moutinho e ao Rodrigo Souto pelos conselhos durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos que me apoiaram durante minha trajetória no curso de graduação e que apoiaram durante a elaboração deste trabalho.

Por fim, agradeço aos meus pais, Luís e Gisele, por me inspirarem como profissionais e por terem me apoiado durante a minha trajetória acadêmica e profissional.

A verdade não é para todos os homens, apenas para
aqueles que a procuram.

Ayn Rand

RESUMO

Este trabalho visa auxiliar engenheiros, planejadores e gestores de obra no que tange a organização do processo de produção de estruturas convencionais de concreto armado em edifícios. Este processo tem características repetitivas, sendo que a regularidade dos ciclos de produção é determinante para assegurar o prazo de produção estabelecido. Aliado a este fato, a produção destas estruturas ocorre via de regra com o emprego de equipes multifuncionais, em que a organização do trabalho dentro da equipe é realizada diretamente pela mesma, nos moldes de grupos semi-autônomos, dificultando a padronização do trabalho no nível individual de cada trabalhador. Isso se dá através da análise do processo e posteriormente das operações que o compõem. Partindo da revisão da literatura relacionada ao tema, particularmente quanto ao Sistema Toyota de Produção (STP) e ao Mecanismo da Função Produção (MFP), o presente trabalho emprega conceitos de processo, operação e tempo de ciclo para elaborar uma proposta de método para o planejamento da execução deste tipo de estrutura. Os estudos realizados adotaram a pesquisa construtiva como estratégia de pesquisa, e partindo de casos de empreendimentos de uma empresa construtora de médio porte, foi analisada em profundidade a natureza do problema de planejamento da produção deste tipo de estrutura de concreto. Realizado o acompanhamento do planejamento e da execução de duas estruturas convencionais de concreto armado, planos de melhorias com base nos princípios, conceitos e ferramentas do STP foram propostos. Então, verificada a eficácia destes princípios, conceitos e ferramentas na redução do tempo de ciclo do processo, um método para planejamento da execução de estruturas racionalizadas de concreto armado foi avaliado no planejamento de estruturas convencionais de concreto armado.

Palavras-chave: Planejamento da Produção. Sistema Toyota de Produção. Mecanismo da Função Produção. Execução de estruturas convencionais de concreto armado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho	16
Figura 2 – Mecanismo da Função de Produção	25
Figura 3 – Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor	32
Figura 4 – Curvas de produção típicas para processos repetitivos	34
Figura 5 – Gráfico do fluxo do processo	36
Figura 6 – Tipos de etapas de um processo	36
Figura 7 – Gráfico das operações	38
Figura 8 – Tipos de etapas de uma operação	38
Figura 9 – Gráfico operador-máquina	40
Figura 10 – Edifício do estudo de caso 1	55
Figura 11 – Estrutura do estudo de caso 1	55
Figura 12 – Planta baixa do estudo de caso 1	56
Figura 13 – Etapas do processo do estudo de caso 1	57
Figura 14 – Planejamento do estudo de caso 1	58
Figura 15 – Rede de processo do estudo de caso 1	59
Figura 16 – Sequência de produção do estudo de caso 1	60
Figura 17 – Fixação do galgalho	61
Figura 18 – Armaduras de pilares	62
Figura 19 – Formas de pilares	62
Figura 20 – Estoque de escoras	63
Figura 21 – Serra circular	64
Figura 22 – Transporte vertical de escoramento	64
Figura 23 – Fixação de topo de escora	65
Figura 24 – Cunhas	65
Figura 25 – Formas de lajes	67
Figura 26 – Mini grua	67
Figura 27 – Instalações elétricas	68

Figura 28 – Concretagem de pilares	69
Figura 29 – Concretagem de lajes e vigas	70
Figura 30 – Sequência de produção final do estudo de caso 1	75
Figura 31 – Estrutura do estudo de caso 2	76
Figura 32 – Edifício do estudo de caso 2	76
Figura 33 – Planta baixa do estudo de caso 2	77
Figura 34 – Etapas do processo do estudo de caso 2	78
Figura 35 – Planejamento do estudo de caso 2	78
Figura 36 – Rede de processo do estudo de caso 2	79
Figura 37 – Sequência de produção do estudo de caso 2	80
Figura 38 – Desorganização de materiais e equipamentos	82
Figura 39 – Material depositado	82
Figura 40 – Formas de borda	83
Figura 41 – Concretagem de lajes e vigas	83
Figura 42 – Sequência de produção final do estudo de caso 2	86
Figura 43 – Método para planejamento da execução de estruturas convencionais de concreto armado	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diagrama de processo de escoramento	72
Quadro 2 – Diagrama de operação conjunta de escoramento	73
Quadro 3 – Operações de carpinteiro 1	74
Quadro 4 – Operações de carpinteiro 2	74
Quadro 5 – Operações prévias de carpinteiro	85
Quadro 6 – Operações aprimoradas de carpinteiro	85

LISTA DE SIGLAS

CPM – *Critical Path Method*

IGLC – *International Group for Lean Construction*

JIT – *Just-in-time*

MFP – Mecanismo da Função de Produção

STP – Sistema Toyota de Produção

TP – Trabalho Padronizado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	14
2.2.1 Objetivo Principal	14
2.2.2 Objetivos Secundários	14
2.3 PRESSUPOSTO	15
2.4 DELIMITAÇÕES	15
2.5 LIMITAÇÕES	15
2.6 DELINEAMENTO	15
3 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO	19
3.1 VISÕES DE PRODUÇÃO	19
3.1.1 Administração Científica	19
3.1.2 Sistema Toyota de Produção	21
3.1.3 Construção Enxuta	28
3.2 FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO	30
3.2.1 Mapeamento de Fluxo de Valor	30
3.2.2 Linha de Balanço	33
3.2.3 Análise de Processo do Produto	34
3.2.4 Análise de Operador do Processo	37
3.2.5 Análise de Operação Combinada	38
3.2.5.1 Análise de Operador-Máquina	39
3.2.5.2 Análise de Operação Conjunta	41
3.2.6 Estudo de Tempos e de Movimentos	41
3.3 PROCESSO EXECUTIVO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	42
3.3.1 Elementos necessários	43
3.3.2 Detalhamento do processo executivo	44
3.3.2.1 Confecção das formas	44
3.3.2.2 Montagem das formas	44
3.3.2.3 Desforma	46
3.3.2.4 Montagem das armaduras	46
3.3.2.5 Lançamento e adensamento do concreto.....	46
3.3.3 Organização das equipes do processo	47

3.4 MÉTODO PARA PLANEJAMENTO DA EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS RACIONALIZADAS	48
4 MÉTODO DE PESQUISA	50
4.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA	50
4.2 FONTES DE COLETA DE DADOS	51
4.2.1 Registros em arquivos	51
4.2.2 Observações diretas	52
4.2.3 Entrevistas	52
5 ESTUDOS DE CASOS	54
5.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA	54
5.2 ESTUDO DE CASO 1	55
5.2.1 Acompanhamento do planejamento	56
5.2.2 Acompanhamento da execução	58
5.2.3 Planos de melhorias	70
5.3 ESTUDO DE CASO 2	76
5.3.1 Acompanhamento do planejamento	77
5.3.2 Acompanhamento da execução	79
5.3.3 Planos de melhorias	84
6 AVALIAÇÃO DO MÉTODO	87
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
REFERÊNCIAS	94

1 INTRODUÇÃO

A produtividade constitui uma das melhores medidas para aferir do desempenho organizacional de uma empresa. Definida basicamente como a relação entre a produção realizada e os fatores de produção nela empregados, a produtividade afeta tanto os custos unitários de produção como a escala de produção que pode ser atingida a partir do emprego de determinada quantidade de recursos. Assim, uma empresa que obtenha ganhos de produtividade se beneficia tanto com a redução dos custos unitários de seus produtos e serviços, como com um aumento na capacidade de ofertar estes mesmos produtos e serviços a uma maior quantidade de clientes.

A produtividade do setor de construção civil é reconhecidamente menor que a das indústrias de manufatura, o que indica um significativo potencial para a sua melhoria a partir da observação dos métodos e práticas naquelas empregados.

A estrutura de concreto armado é uma das principais atividades dos empreendimentos de construção, especialmente nas edificações verticais. Além de seu reflexo no custo das obras, a estrutura de concreto armado em edificações verticais é um dos principais condicionantes do prazo de execução da obra e, portanto, ganhos na produtividade de execução da estrutura constituem numa estratégia relevante não apenas para reduzir os custos de construção, mas, também, o prazo dos empreendimentos.

Visando obter ganhos em produtividade na execução destas estruturas, pode-se adotar tecnologias e métodos construtivos mais eficientes, em outras palavras, aprimorar os processos. Adicionalmente, pode-se reduzir a necessidade de transportes através de melhorias na organização de equipamentos. Ainda, é possível reorganizar as equipes de trabalho, reduzindo ociosidades dos trabalhadores. Equipes estas que possuem particularidades de difícil controle em sua organização em função de seu grau de autonomia.

Com a finalidade de aprimorar processos e organizar equipes de trabalho e equipamentos de maneira mais eficaz e, conseqüentemente, reduzir o tempo de execução de processos, ferramentas para planejamento da produção podem ser aplicadas. Ferramentas estas que devem ser aplicadas sob a ótica de determinado modelo de produção.

O Sistema Toyota de Produção (STP), também conhecido como Produção Enxuta, é o modelo de produção cujos princípios servem de base à aplicação das ferramentas escolhidas. Este sistema de produção é utilizado em muitas organizações de elevado desempenho, com a finalidade de eliminar perdas em produtividade de processos produtivos, e é descrito em maior detalhe na revisão bibliográfica.

Vista a necessidade de reduzir a duração da execução de estruturas convencionais de concreto armado e a verificada eficácia de ferramentas para planejamento da produção, dentro do contexto do STP, aplicadas a diversos outros processos, propõe-se a aplicação destas ferramentas na execução de estruturas convencionais de concreto armado.

As ferramentas do STP, além de seus princípios e conceitos, já foram aplicadas ao processo executivo de estruturas racionalizadas de concreto. Fazinga (2012) realizou estudo de caso envolvendo a implementação de conceitos do trabalho padronizado advindos principalmente do STP ao processo executivo de estruturas racionalizadas, demonstrando que estes conceitos são potencialmente eficazes na redução do tempo de ciclo do processo, desde que sejam realizadas adaptações pertinentes.

Posteriormente, embasado no STP e em estudo de caso relativo à execução de estrutura de concreto com elementos pré-fabricados, Zuchetti (2013) desenvolveu método para planejamento da execução destas estruturas. Método este que parte dos lotes de produção e transferência e da organização das equipes e equipamentos, visando redução no tempo de ciclo do processo.

Com base no conhecimento adquirido, relativo aos princípios, conceitos e ferramentas do STP durante a pesquisa bibliográfica e no método para planejamento da execução de estruturas de concreto com elementos pré-fabricados elaborado, avaliações do planejamento e da execução de estruturas convencionais de concreto armado foram realizadas. Finalizadas estas avaliações, foram utilizadas ferramentas do STP para mapeamento do processo produtivo, identificação de perdas neste processo e proposição de planos de melhorias. Finalmente, após a validação das ferramentas do STP, foi avaliado o método desenvolvido para o processo executivo de estruturas racionalizadas para o processo executivo de estruturas de concreto convencionais e considerações finais foram realizadas.

Primeiramente, no capítulo 3, é apresentada a revisão bibliográfica necessária ao trabalho. Então, no capítulo 4, é descrito o método de pesquisa utilizado no trabalho. No capítulo 5, os estudos de casos referentes aos processos executivos das estruturas convencionais de concreto armado são analisados e detalhados. No capítulo 6, o método para planejamento da execução é avaliado. Por fim, no último capítulo, considerações finais em relação ao trabalho são realizadas.

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: como aprimorar processos e a organização de equipes de trabalho e de equipamentos de forma a reduzir o tempo de ciclo na execução de estruturas convencionais de concreto armado?

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 avaliação de método no planejamento da execução de estruturas convencionais de concreto armado, visando à redução do tempo de ciclo do processo.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) identificação do conjunto de ferramentas de planejamento da produção aplicáveis ao planejamento da execução de estruturas convencionais de concreto armado;
- b) identificação das dificuldades envolvidas no planejamento da execução de estruturas convencionais de concreto armado.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que a redução no tempo de ciclo do processo repercute positivamente na abreviação do tempo de execução da estrutura.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à aplicação de ferramentas de planejamento da produção dentro da visão do STP.

2.5 LIMITAÇÕES

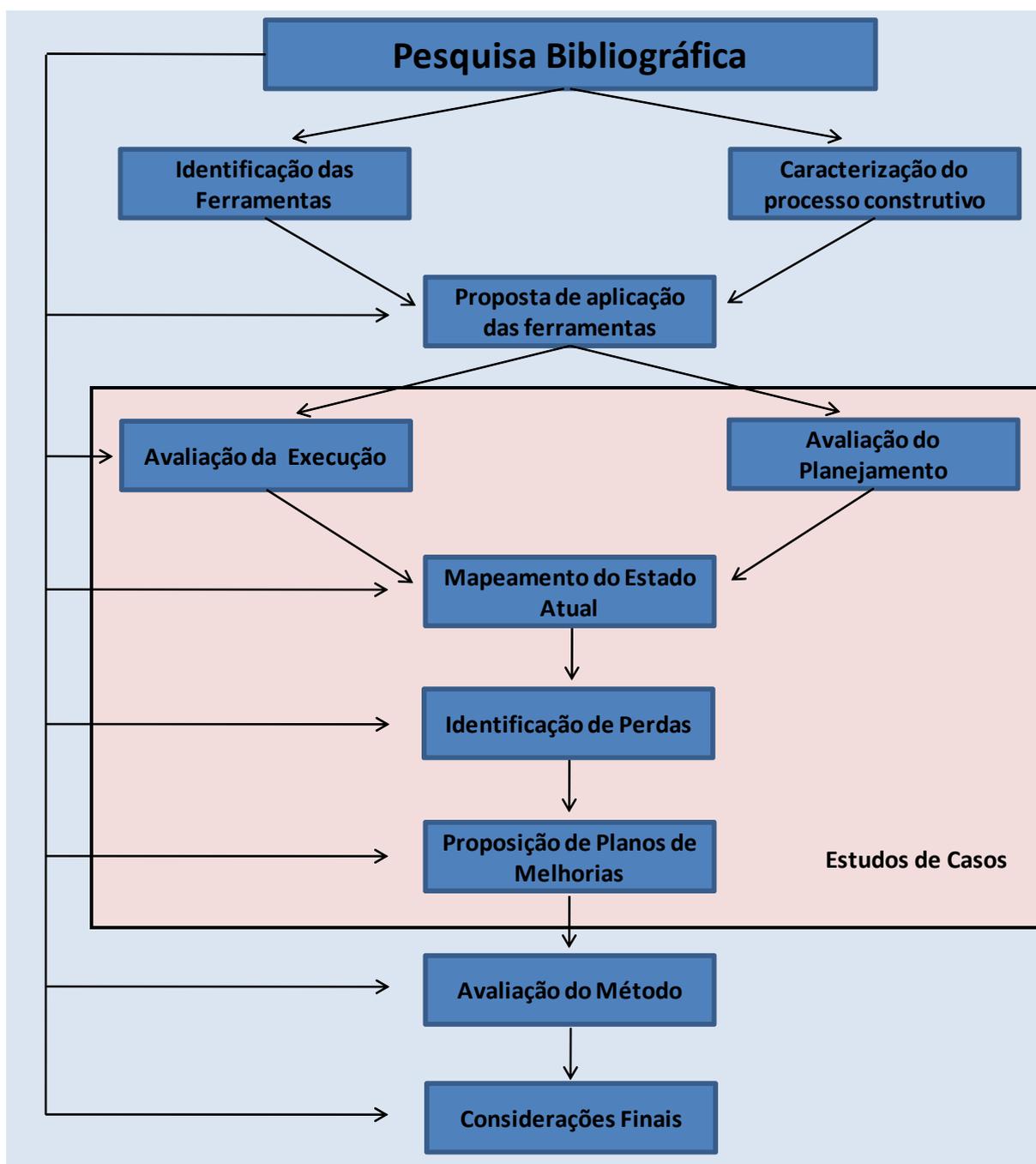
O trabalho limita-se à aplicação das ferramentas de planejamento da produção a obras de somente uma construtora.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) identificação das ferramentas;
- c) caracterização do processo construtivo;
- d) proposta de aplicação das ferramentas;
- e) avaliação da execução;
- f) avaliação do planejamento;
- g) mapeamento de estado atual;
- h) identificação de perdas;
- i) proposição de planos de melhorias;
- j) avaliação do método;
- k) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho



(fonte: elaborada pelo autor)

A **pesquisa bibliográfica** consiste no estudo das visões de produção, da análise dos processos e das operações, do processo executivo de estruturas convencionais de concreto armado e de ferramentas para planejamento da produção. Além disso, nesta etapa, são descritas aplicações prévias dos princípios e conceitos estudados à construção civil e a estruturas racionalizadas de concreto. O principal objetivo desta etapa é a compreensão da visão de produção do STP e das capacidades e limitações das ferramentas dentro do contexto deste sistema de produção.

Com base na pesquisa bibliográfica, a **identificação das ferramentas** de planejamento da produção aplicáveis ao planejamento do método de execução de estruturas convencionais de concreto armado foi realizada. Paralelamente, a **caracterização do processo construtivo** de estruturas convencionais de concreto armado sob o ponto de vista do STP foi efetuada.

Então, levando em conta as ferramentas selecionadas e as características levantadas do processo construtivo, realizou-se a **proposta de aplicação das ferramentas** de planejamento da produção. Esta etapa consiste na adaptação das ferramentas selecionadas ao processo executivo em estudo para que a posterior aplicação destas nos estudos de casos fosse possível.

Proposta a forma de aplicação das ferramentas nos estudos de casos, pôde-se iniciá-los. Inicialmente, foi realizada a **avaliação da execução** de estruturas convencionais de concreto armado. Esta avaliação do processo executivo em estudo foi realizada com base em observações, registros e testemunhos dos envolvidos, em obras que empregam este sistema construtivo. Adicionalmente, a **avaliação do planejamento** de obras que adotem este sistema construtivo pôde ser efetuada. Esta etapa consiste na avaliação da sistemática atual de planejamento, através da observação e compreensão detalhadas dos métodos e ferramentas utilizadas e de testemunhos dos envolvidos.

A partir das avaliações das obras e dos planejamentos destas, tornou-se possível realizar o **mapeamento de estados atuais**, que consiste na descrição do fluxo produtivo das estruturas convencionais de concreto armado analisadas, com utilização das ferramentas, princípios e conceitos do STP.

Realizado o mapeamento de estados atuais, pôde-se efetuar a **identificação de perdas** do processo nos estados atuais. Esta etapa consiste na determinação e descrição das perdas que impactam a produtividade do processo produtivo analisado, com o uso de ferramentas dentro da perspectiva do STP.

Então, a **proposição de planos de melhorias** pôde ser realizada. Este passo consiste na elaboração e posterior proposição de planos de melhorias nos processos executivos das estruturas convencionais de concreto armado das obras analisadas. Para que estes planos sejam realizados, as ferramentas utilizadas para a descrição do fluxo do processo e identificação de perdas deste processo foram aplicadas em seu planejamento.

Os planos de melhorias têm como meta a redução dos tempos de execução das estruturas convencionais de concreto armado em estudo. Constatadas reduções nestes tempos de execução e, portanto, verificada a eficácia das ferramentas de planejamento da produção aplicadas ao processo em estudo, partiu-se para a avaliação do método.

Com base na filosofia de produção do STP e em suas ferramentas, a **avaliação do método** no planejamento da execução de estruturas convencionais de concreto armado, visando à redução do tempo de ciclo destas pôde ser realizada.

Então, **considerações finais** em relação ao trabalho feito foram realizadas. Tais considerações englobam observações e recomendações para trabalhos futuros cujos temas abordem o planejamento da execução de estruturas convencionais de concreto armado e outros processos semelhantes da construção civil, através da visão do STP.

3 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Este capítulo consiste na apresentação das visões de produção, da análise dos processos e das operações, do processo executivo de estruturas convencionais de concreto armado e de ferramentas para planejamento da produção. Além disso, são descritas aplicações prévias dos princípios e conceitos estudados à construção civil. O principal objetivo deste capítulo é a compreensão da visão de produção do STP e das capacidades e limitações das ferramentas dentro do contexto deste sistema de produção.

3.1 VISÕES DE PRODUÇÃO

Neste item, são apresentadas as visões de produção da Administração Científica, do Sistema Toyota de Produção e da Construção Enxuta. O objetivo deste capítulo é apresentar as referências na qual este trabalho se embasa, de forma que os princípios e conceitos do STP necessários à realização deste trabalho possam ser contextualizados e compreendidos, para que, posteriormente, as ferramentas de planejamento da produção deste sistema de produção possam ser apresentadas.

Inicialmente, é apresentada a visão de produção da Administração Científica, com a finalidade de descrever as primeiras tentativas de racionalização da prática administrativa e de citar críticas — do ponto de vista do STP — desta visão, relevantes a este trabalho. Na segunda parte deste capítulo, o STP é contextualizado historicamente, princípios e conceitos do STP relevantes a este trabalho são apresentados e, então, o método de análise de fluxos de produção do STP, através de processos e operações, é demonstrado. Na terceira parte deste capítulo, críticas aos métodos utilizados na construção para planejamento da produção são apresentadas e propostas de adaptação e aplicação dos princípios e conceitos do STP à construção são citadas.

3.1.1 Administração Científica

Embora muitos tenham direcionado esforços, visando à racionalização da prática administrativa, antes de Frederick W. Taylor, nenhum indivíduo havia, com tanta dedicação e

resiliência, difundido os princípios e conceitos científicos na prática da gestão. Taylor não foi responsável somente pela difusão das ideias científicas na gerência de negócios, ele, com ajuda de seus associados, as implementou em muitas plantas industriais. Taylor é, indiscutivelmente, o pai da Administração Científica (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 27).

Taylor era extremamente dedicado à obtenção de eficiência. Para obtê-la, separava o processo produtivo em suas partes componentes, com a finalidade de aprimorar a eficiência de cada parte. Adicionalmente, Taylor definia os padrões de trabalho dos operários com base na eficiência potencial de “homens de primeira classe” (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 27).

Medir e comparar as velocidades com as quais operários trabalhavam não eram os únicos objetivos de Taylor, encontrar a melhor maneira de se realizar uma tarefa era sua principal obsessão. As práticas comuns, com base em experiência histórica, não possuíam valor algum para Taylor. Com a finalidade de obter eficiência máxima, examinava cada componente do trabalho separadamente e eliminava quaisquer movimentos que não fossem rápidos o bastante, ou que fossem desnecessários. Aprimorando equipamentos, Taylor acelerou o trabalho mecânico dos operários. Os padrões de trabalho eram, para Taylor, baseados na eficiência de um “homem de primeira classe”, utilizando o melhor procedimento possível (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 27).

De acordo com Taylor (1990, p. 40-41), a direção de uma empresa tem as seguintes características:

- a) desenvolver, para cada elemento do trabalho individual, uma ciência que substitua os métodos empíricos;
- b) selecionar cientificamente, depois treinar, ensinar e aperfeiçoar o trabalhador. No passado, ele escolhia seu próprio trabalho e treinava a si mesmo como podia;
- c) cooperar cordialmente com os trabalhadores para articular todo o trabalho com os princípios da ciência que foi desenvolvida;
- d) manter divisão equitativa de trabalho e de responsabilidades entre a direção e o operário. A direção incumbe-se de todas as atribuições, para as quais esteja mais bem aparelhada do que o trabalhador; ao passo que no passado quase todo o trabalhador e a maior parte das responsabilidades pesavam sobre o operário.

Taylor inspirou muitos seguidores através de suas ideias. Dentre eles, destaca-se Henry Gantt, criador do Gráfico de Gantt, muito utilizado na gestão de projetos. Apesar de Gantt ter obsessão por eficiência e também ser adepto da administração científica, discordava de Taylor

em muitos aspectos. Gantt desenvolveu procedimentos para que trabalhadores pudessem adaptar os padrões de trabalho, se opondo à visão de Taylor em relação a estes padrões (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 31).

Frank Gilbreth, outro destacado adepto da Administração Científica, ampliou o estudo de Taylor em relação a tempos de trabalho, realizando estudos de movimentos. Nestes estudos, Gilbreth analisou detalhadamente movimentos de trabalho, visando aumento de eficiência. Gilbreth foi pioneiro na utilização da câmera de imagem para a análise de movimentos e reduziu os elementos do movimento humano a 18 componentes básicos, chamados *therbligs* (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 31-32).

O reducionismo próprio da Administração Científica é a base teórica que fundamenta muitas das teorias utilizadas por engenheiros de produção atualmente (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 31). No entanto, mesmo que o reducionismo possa gerar resultados proveitosos, quando utilizado na análise de sistemas complexos, este método não deve ser considerado como o único válido. Na realidade, com base na grande divergência entre o enfoque das pesquisas científicas e as práticas profissionais da indústria, pode-se concluir que muita ênfase nos elementos considerados individualmente de um sistema pode gerar desvios da visão sistêmica (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 16).

Diferentemente da perspectiva reducionista das sociedades ocidentais, as sociedades orientais possuem uma visão mais holística de como administrar. Esta visão holística prioriza as interações entre os elementos em detrimento da análise dos elementos individualmente (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 16).

3.1.2 Sistema Toyota de Produção

Em 1973, a crise do petróleo, seguida da recessão, afetou gravemente a economia do Japão. O nível de crescimento econômico do Japão estava próximo de zero e grande parte das empresas se encontrava em situação crítica. Naquela época, no entanto, a *Toyota Motor Company* se mostrava em posição de destaque, com lucros superiores às outras empresas japonesas. Este contraste entre a Toyota e o restante das empresas motivou as pessoas a verificarem o que estaria acontecendo na Toyota. Afinal, a Toyota não poderia ter obtido lucros significativos utilizando o sistema de produção em massa americano durante uma crise tão severa quanto aquela que estava ocorrendo (OHNO, 1997, p. 1).

Para garantir sua sobrevivência no mercado, a Toyota não poderia adotar um sistema produção em massa como o americano, produzindo grandes quantidades de um número limitado de modelos. A Toyota necessitava adotar um sistema de produção que a permitisse produzir pequenas quantidades de modelos diferentes, utilizando somente uma linha de montagem, já que a demanda de automóveis do mercado japonês não era suficiente para sustentar linhas de montagem exclusivas a um só veículo. Possuindo poucos recursos, pouco capital e operando em um país pequeno, a Toyota não podia se dar ao luxo de obter economias de escala na produção de automóveis. Era necessário desenvolver um sistema de produção adequado a sua realidade para obter flexibilidade, alta qualidade, menor *lead time*¹ e baixo custo na produção de automóveis (LIKER, 2005, p. 41).

Sistema este que deve visar sincronia de processos produtivos, buscando igualar os tempos de ciclo destes processos a seus respectivos *takt times*², maximizando a eficiência produtiva (ROTHER; SHOOK, 1999, p. 38).

Então, inspirado pelo sistema puxado dos supermercados americanos, pelo pioneiro em qualidade, W. Edwards Deming e pelas lições de Henry Ford, Taiichi Ohno propôs o Sistema Toyota de Produção (LIKER, 2005, p. 43).

O Sistema Toyota de Produção busca a eliminação de perdas, cuja definição é descrita por Shingo (1996, p. 110): “A **perda** é qualquer atividade que não contribui para as operações, tais como espera, acumulação de peças semiprocessadas, recarregamentos, passagem de materiais de mão em mão, etc.”.

De forma detalhada, Liker (2005, p. 47-48) descreve os sete tipos de perda identificados pela Toyota e um oitavo tipo de perda, incluído por ele: [...]

- a) **superprodução**. Produção de itens para os quais não há demanda, o que gera perda com excesso de pessoal e de estoque e com os custos de transporte devido ao estoque excessivo;
- b) **espera (tempo sem trabalho)**. Funcionários que servem apenas para vigiar uma máquina automática ou que ficam esperando pelo próximo passo no processamento, ferramenta, suprimento, peça, etc., ou que simplesmente não têm trabalho para fazer devido a uma falta de estoque, atrasos no processamento, interrupção do funcionamento de equipamentos e gargalos de capacidade;

¹ O *lead time* é o período no qual um produto percorre seu fluxo de valor, desde sua matéria-prima até que esteja acabado (ROTHER; SHOOK, 1999, tradução nossa).

² O *takt time* é o tempo que se deve levar para produzir um produto, baseado no ritmo de vendas, para atender à demanda dos clientes (ROTHER; SHOOK, 1999, tradução nossa).

- c) **transporte ou movimentação desnecessários.** Movimento de estoque em processo por longas distâncias, criação de transporte ineficiente ou movimentação de materiais, peças ou produtos acabados para dentro ou fora do estoque entre processos;
- d) **superprocessamento ou processamento incorreto.** Passos desnecessários para processar as peças. Processamento ineficiente devido a uma ferramenta ou ao projeto de baixa qualidade do produto, causando movimento desnecessário e produzindo defeitos. Geram-se perdas quando se oferecem produtos com qualidade superior à que é necessária;
- d) **excesso de estoque.** Excesso de matéria-prima, de estoque em processo ou de produtos acabados, causando *lead times* mais longos, obsolescência, produtos danificados, custos de transporte e de armazenagem e atrasos. Além disso, o estoque extra oculta problemas, como desbalanceamento de produção, entregas atrasadas dos fornecedores, defeitos, equipamentos em conserto e longo tempo de *setup* (preparação);
- e) **movimento desnecessário.** Qualquer movimento inútil que os funcionários têm que fazer durante o trabalho, tais como procurar, pegar ou empilhar peças, ferramentas, etc. Caminhar também é perda;
- f) **defeitos.** Produção de peças defeituosas ou correção. Consertar ou retrabalhar, descartar ou substituir a produção e inspecionar significam perdas de manuseio, tempo e esforço;
- g) **desperdício da criatividade dos funcionários.** Perda de tempo, ideias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não envolver ou ouvir seus funcionários.

De acordo com Taiichi Ohno (1997, p. 3):

A base do Sistema Toyota de Produção é a absoluta eliminação do desperdício. Os dois pilares necessários à sustentação do sistema são:

- a) *just-in-time*;
- b) autonomia, ou automação com um toque humano.

Just-in-time (JIT) poderia ser traduzido como “no tempo certo” e significa que os componentes certos necessários à montagem chegam à linha de montagem no tempo em que são necessários e somente na quantidade necessária. Estabelecido, integralmente, o *just-in-time* em um processo de fluxo, torna-se possível eliminar completamente os estoques (OHNO, 1997, p. 3).

Apesar da eliminação completa dos estoques ser o objetivo da gestão da produção, é quase impossível alcançá-lo em um produto composto de milhares de componentes. O número de processos necessários à produção de um automóvel, por exemplo, inviabiliza a aplicação do *just-in-time* por completo. (OHNO, 1997, p. 4).

A quantidade de possíveis problemas durante a produção é incontável e, ocorrendo um problema no início do processo, o resultado é sempre um produto defeituoso no final deste. E, já que o resultado do processo de fluxo é *just-in-time*, um produto defeituoso no final do processo necessariamente para a linha de produção (OHNO, 1997, p. 4).

No entanto, se cada processo for considerado isoladamente, sem dar-se atenção ao sistema como um todo, os componentes de um produto em um processo seriam produzidos sem a preocupação com os processos seguintes. Como resultado, ter-se-ia componentes defeituosos, imensos estoques de componentes desnecessários e, conseqüentemente, redução na produtividade e na lucratividade (OHNO, 1997, p. 4).

Adicionalmente, não se pode diferenciar o estado normal de um estado anormal de cada linha de montagem. Se houverem atrasos em um sistema de estado anormal, grandes quantidades de componentes defeituosos são produzidos e estocados até que um problema na produção possa ser identificado (OHNO, 1997, p. 4).

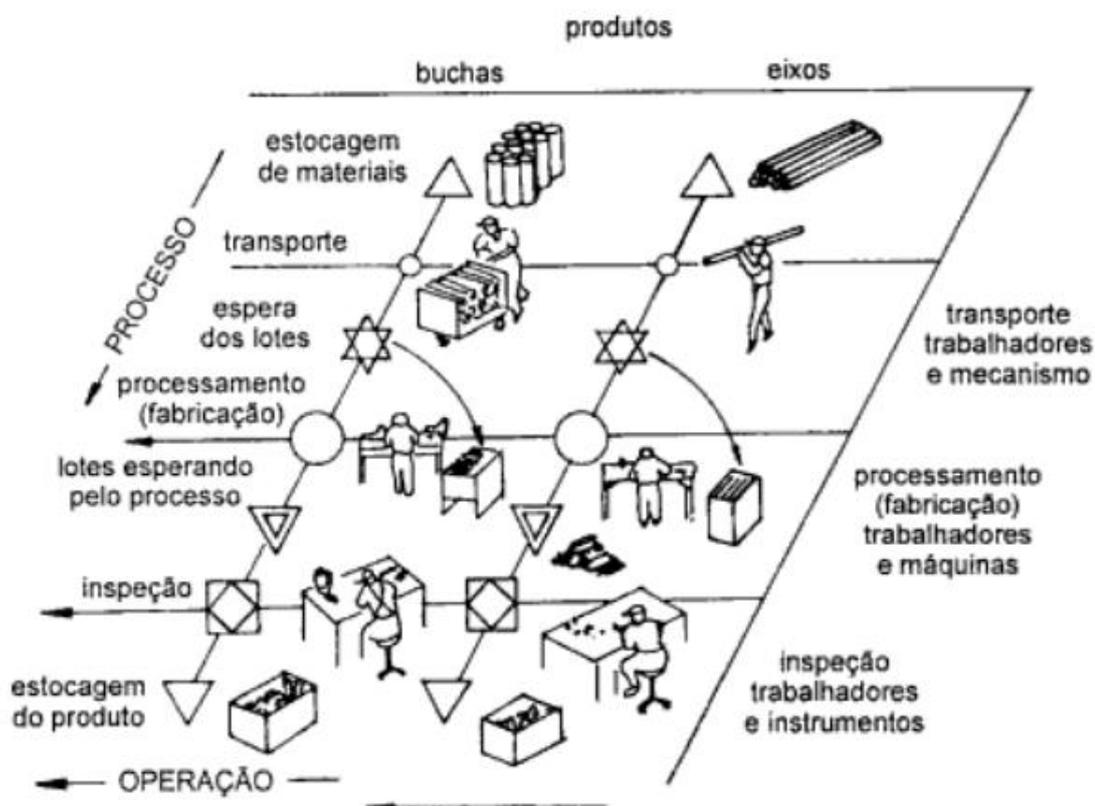
Segundo Ohno (1997, p. 4), “Portanto, para produzir o *just-in-time*, de forma que cada processo receba o item exato necessário, quando for necessário e na quantidade necessária, os métodos convencionais de gestão não funcionam bem.”

O JIT é caracterizado pela formação de um fluxo contínuo de produção, em um sistema no qual a produção é puxada pelo processo seguinte, a partir da demanda do cliente. Em outras palavras, deve-se produzir somente o que é solicitado pelo cliente (LIKER, 2005, p. 42-43).

Fluxo contínuo em um processo produtivo é sinônimo de fluxo unitário de peças: produzir uma peça de cada vez e imediatamente passá-la de uma etapa do processo para a próxima sem perdas no caminho. O fluxo contínuo é a maneira mais eficiente de produzir e, para obtê-lo em um processo, é necessário muito esforço dedicado ao planejamento da produção (ROTHER; SHOOK, 1999, p. 39).

Para obter-se fluxo contínuo na produção, Shingo (1996, p. 37) propõe o entendimento da função de produção como um todo, primeiramente. A produção deve ser compreendida como uma rede de processos e operações. A figura 2 demonstra as relações entre o processo e as operações através da transformação da matéria-prima em produto final e do trabalho realizado pelos trabalhadores e pelas máquinas.

Figura 2 – Mecanismo da Função Produção



(fonte: SHINGO, 1996, p. 38)

O fluxo de materiais ou produtos de um trabalhador para outros, nos diferentes estágios nos quais se pode observar a transformação gradativa das matérias-primas e produtos acabados é definido como um **processo**. Já a análise dos diferentes estágios, no qual os trabalhadores podem estar trabalhando em diferentes produtos, ou seja, o fluxo do sujeito de trabalho (homens, máquinas e equipamentos) no tempo e no espaço é definido como **operação** (SHINGO, 1996, p. 37).

Visando à obtenção de melhorias em um processo produtivo, deve-se diferenciar o processo (fluxo do produto) da operação (fluxo de trabalho) e analisá-los separadamente. No entanto, não se deve analisar as operações e o processo como componentes de um mesmo eixo. Apesar de as operações serem necessárias para a realização do processo, analisá-lo como uma soma de operações reforçaria a ideia errônea de que melhorias em operações individualmente analisadas gerariam, necessariamente, melhorias na eficiência global do fluxo do processo no qual elas fazem parte. Caso não fossem considerados os impactos no processo, melhorias em

operações podem gerar resultados negativos em termos de eficiência global do fluxo produtivo (SHINGO, 1996, p. 37-38).

De acordo com Antunes Junior (1994, p. 40-41), para a correta compreensão do Mecanismo da Função de Produção, é necessário diferenciar o conceito de processo e de operação do ponto de vista ocidental, daquele proposto pelo Sistema Toyota de Produção. Na visão ocidental, processo e operação são elementos referentes a um mesmo eixo de análise. O conceito de operação é relativo ao estudo de pequenas unidades de análise neste eixo. Já o processo, é relativo a grandes unidades de análise no mesmo eixo. Logo, de acordo com esta perspectiva de produção, um processo (unidade de análise agregada) seria composto por um somatório de várias operações (unidades de análise singular).

Na visão ocidental de produção, melhorias obtidas nas operações individualizadas necessariamente produzem melhorias no processo constituído por estas operações. Em outras palavras, os sistemas produtivos seguiriam uma lógica linear e, como resultado, a única diferença entre processo e operação estaria na amplitude que possuem, sendo idêntica a natureza de ambos (ANTUNES JUNIOR, 1994, p. 41).

Já pela ótica do Sistema Toyota de Produção, as análises dos processos e das operações devem ser realizadas independentemente, embora estejam necessariamente inter-relacionadas. Sob esta ótica, a diferença entre processo e operação não apresenta nenhuma relação com a magnitude da unidade de análise e entender a diferença entre ambos é fundamental para aplicação dos princípios do STP (ANTUNES JUNIOR, 1994, p. 41).

Com a finalidade de analisar processos em um fluxo produtivo, Shingo (1996, p. 39) ressalta que:

Cinco elementos distintos de processo podem ser identificados no fluxo de transformação de matérias-primas em produtos:

- a) processamento – uma mudança física no material ou na sua qualidade (montagem ou desmontagem);
- b) inspeção – comparação com um padrão estabelecido;
- c) transporte – movimento de materiais ou produtos; mudanças nas suas posições;
- d) espera – período de tempo durante o qual não ocorre nenhum processamento, inspeção ou transporte.

Há dois tipos de espera:

- a) espera do processo – um lote inteiro permanece esperando enquanto o lote precedente é processado, inspecionado ou transportado;
- b) espera do lote – durante as operações de um lote, enquanto uma peça é necessária, outras se encontram esperando. As peças esperam para serem processadas ou pelo restante do lote ser fabricado. Este fenômeno também ocorre na inspeção e no transporte.

Feita a análise do processo produtivo, pode-se aprimorá-lo de duas formas. A primeira destas é chamada de Engenharia de Valor e, tem como objetivo a melhoria do produto em si. Já a segunda, toma como enfoque a tecnologia de fabricação do produto ou os métodos de fabricação deste produto (SHINGO, 1996, p. 41).

A primeira etapa visando à obtenção de melhorias no processo é a Engenharia de Valor e visa redesenhar o produto em si, mantendo sua qualidade e reduzindo seus custos de fabricação. A segunda etapa consiste na procura por meios de aprimoramento da fabricação do produto. Esta etapa engloba melhorias na tecnologia de produção, como ferramentas ou equipamentos mais adequados à produção de um determinado produto e melhorias no método de fabricação, baseadas na Engenharia de Produção (SHINGO, 1996, p. 41).

Em relação à análise das operações de um fluxo produtivo, Shingo (1996, p. 75-77) faz a seguinte classificação:

Operações de *setup*. Preparação antes e depois das operações, tais como *setup*, remoção e ajustes de matrizes, ferramentas, etc.

Operações principais. Executar o trabalho necessário. Isso inclui as operações essenciais (aquelas ações que executam realmente a operação principal), ou seja:

- a) processamento – usinagem de um produto;
- b) inspeção – medição de qualidade;
- c) transporte – movimentação de material;
- d) estocagem – manter ou estocar as peças.

Isso também inclui as **operações auxiliares** (ações que auxiliam a concluir a operação essencial), como por exemplo:

- a) processamento – ação de colocar os materiais ou peças na máquina e remoção dos mesmos, quando a operação estiver concluída;
- b) inspeção – encaixe do produto no aparelho de medição e, posteriormente, sua remoção;
- c) transporte – carregamento e descarregamento de material;

d) espera – colocação e remoção das peças na área de estocagem.

Folgas marginais. Atividades relacionadas indiretamente com a operação, por exemplo:

- a) folga na operação – atividade indiretamente ligada à tarefa como, por exemplo: lubrificação, aplicação de pinturas antiaderentes, remoção de rebarbas, tratamento de produtos com defeito, quebra de máquinas, etc;
- b) folga entre operações – trabalho indireto comum a diversas operações, como por exemplo, fornecimento de materiais, substituição de produtos nos paletes.

Folgas ligadas ao pessoal. Atividades não relacionadas à operação e relativas às necessidades do operador. São de dois tipos:

- a) folgas por fadiga – período de descanso entre operações;
- b) folgas por necessidades fisiológicas – beber água, ir ao toalete, etc.

3.1.3 Construção Enxuta

De acordo com Koskela (1992, p. 4), a construção possui baixa produtividade, segurança do trabalho muito inferior a das outras indústrias, condições de trabalho precárias e qualidade considerada insuficiente. Muitas soluções foram propostas, visando resolver os problemas da construção, entre estas, pode-se citar: a industrialização, a utilização de tecnologia da informação e a automação.

Ainda, Koskela (1992, p. 4) afirma que, apesar de pouco interesse por parte do setor da construção, há uma nova filosofia de produção, cujo impacto é, aparentemente, muito superior àquele da automação e da tecnologia da informação. Esta nova filosofia, diferentemente de outras soluções propostas aos problemas da construção, é baseada em princípios e conceitos relacionados aos processos produtivos, ao invés de baseada em novas tecnologias.

Esta nova filosofia, que serve como base para o Sistema Toyota de Produção, teve sua primeira tentativa marcante de aplicação à construção com o trabalho feito por Lauri Koskela, em 1992. Este trabalho é denominado *Application of the New Production Philosophy in the Construction Industry*, e tem como uma de suas principais bases provenientes do STP, o *just-in-time* (KOSKELA, 1992, p. 30).

Em relação às tentativas de resposta à baixa produtividade na construção, Koskela (1992, p. 30) relata que técnicas de cunho tático e operacional têm sido utilizadas. Dentre estas, ferramentas de planejamento e controle da produção, métodos organizacionais e métodos de

gestão de projetos. Estas tentativas estão fundamentadas em uma visão da construção baseada no modelo de conversão.

O modelo de conversão tem por característica dividir o processo em subprocessos, que são analisados separadamente e identificados como processos de conversão. Este modelo é base para muitos conceitos gerenciais de outros setores além da construção, entre estes: projetos organizados de forma sequencial e organizações hierárquicas (KOSKELA, 1992, p. 30).

Um dos métodos mais utilizados para planejamento de projetos é um exemplo da aplicação do modelo de conversão na construção, a Rede CPM [*Critical Path Method*]. Este método considera como unidade básica de análise, as atividades necessárias à produção dos elementos de uma obra. Este modelo também é aplicado com a finalidade de estimar os custos de uma obra, que é normalmente dividida em elementos supostamente independentes e os custos relativos à mão de obra e materiais, então, são determinados (KOSKELA, 1992, p. 30).

Segundo Koskela (1992, p. 33), a redução do fluxo de produção em atividades individuais e posterior reorganização destas, com a finalidade de minimizar a duração total da obra, que caracteriza o método de planejamento da Rede CPM, podem gerar resultados subótimos.

Por não representar os fluxos de material e de trabalho, a Rede CPM não representa os benefícios da continuidade destes fluxos, como o aprendizado adquirido pelas equipes de trabalho durante a execução de tarefas repetitivas ou a redução dos custos de supervisão e controle (KOSKELA, 1992, p. 33).

Como resposta, Koskela (1992, p. 38) propõe que a unidade de análise da construção passe a ser o fluxo produtivo, de forma que os princípios e conceitos que fundamentam a análise da construção sejam revistos.

Traduzindo a construção em fluxos de processos, pode-se dividi-la em processos principais e processos de suporte e controle. Sendo assim, os fluxos principais seriam: o fluxo de materiais e montagem destes no canteiro de obras, e fluxo das equipes de trabalho na construção. Já os processos de suporte e controle seriam: a gestão de projetos, o planejamento da construção e o controle e supervisão da obra (KOSKELA, 1992, p. 38).

Ainda, Koskela (1992, p. 44) reitera que “Tanto no planejamento do trabalho quanto na gestão dos materiais, a ênfase deve ser alterada para o fluxo completo de processos ao invés de atividades discretas.”.

De acordo com Formoso (2002), com o objetivo de adaptar os princípios e conceitos do STP, ou *Lean Production* (Produção Enxuta), à construção, Lauri Koskela foi pioneiro no desenvolvimento da *Lean Construction* (Construção Enxuta). A partir da sua publicação sobre o tema, em 1992, foi posteriormente criado o IGLC [*International Group for Lean Construction*], cujo objetivo é o aprimoramento e a adaptação dos conceitos da Construção Enxuta em diversos países.

Em relação à Construção Enxuta, Jorgensen e Emmitt (2008, p. 384) ressaltam que muitos dos conceitos que servem de base à Produção Enxuta não são aplicáveis à construção. Nas indústrias, no geral, há elevadas taxas de padronização e de repetitividade nos processos produtivos. Já na construção, com poucas exceções, cada projeto possui características únicas.

Ainda, segundo Jorgensen e Emmitt (2008, p. 388-389), é fundamental que sejam compreendidas as definições de valor e de perda do STP, para que seja possível aplicá-las à construção. O valor tem sido definido apenas em termos do processo construtivo e não do produto final da construção, na literatura relativa à Construção Enxuta. O valor ao consumidor de um edifício que tem vida útil de dezenas de anos e tem grande quantidade de donos ao longo desta vida útil é de difícil definição. Só é possível aplicar os princípios da Produção Enxuta à construção se as definições de valor e perda forem corretamente aplicados à toda vida útil da obra.

3.2 FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Neste item, são apresentadas, dentro do contexto do STP, as capacidades e limitações das ferramentas de planejamento da produção que foram posteriormente aplicadas durante o trabalho.

3.2.1 Mapeamento de Fluxo de Valor

Mapear um fluxo é representar as etapas que agregam valor ao produto e aquelas que não agregam valor ao produto que atualmente fazem parte do fluxo de produção deste produto.

Podendo este fluxo de produção ser subdividido em: fluxo de matéria-prima se transformando em produto ao consumidor e fluxo de projeto até lançamento deste. O primeiro dentre os dois fluxos citados é aquele que tem maior relação à Produção Enxuta e é o foco deste trabalho (ROTHER; SHOOK, 1999, p. 1).

Seria possível realizar uma análise completa dos processos que compõe um determinado produto, no entanto, mapear o fluxo de valor partindo do produto acabado até as origens de todas das matérias-primas de um produto, levando em conta que estas provem de diferentes empresas, seria uma tarefa muito desgastante. Há de se ter uma visão holística da produção e não somente olhar para as etapas individualmente, como se não houvesse inter-relações entre estas, para obter-se melhorias através do Mapeamento do Fluxo de Valor, no entanto, seria uma tarefa muito ambiciosa mapear toda a cadeia produtiva de um produto (ROTHER; SHOOK, 1999, p. 1).

Em outras palavras, mapear o fluxo de valor, na prática, nada mais é do que representar os fluxos de material e informação na produção de determinado produto com o uso de um lápis e um pedaço de papel. Deve-se seguir o caminho de produção de um produto desde o consumidor até o fornecedor, representando, em um diagrama, os fluxos de material e de informações. Realizado este diagrama de estado atual da produção, deve-se repensá-lo e propor melhorias na forma de um mapa que represente este estado futuro do fluxo de produção (ROTHER; SHOOK, 1999, p. 2).

Rother e Shook (1999, p. 2, tradução nossa) descrevem as razões pelas quais o Mapeamento de Fluxo de Valor é uma ferramenta essencial: [...]

- a) te ajuda a visualizar mais que o nível de somente um processo, como montagem, soldagem, etc., em produção. Você pode ver o fluxo;
- b) te ajuda a ver mais do que desperdício. Mapear te ajuda a ver as fontes de desperdício em um fluxo de valor;
- c) te fornece uma linguagem comum para falar sobre o processo de produção;
- d) torna as decisões de fluxo aparentes, de forma que você possa discuti-las. Caso contrário, muitos detalhes e decisões no chão de fábrica simplesmente acontecem como se fossem padrões;
- e) junta técnicas e conceitos da Produção Enxuta, o que ajuda você a evitar escolhas seletivas;
- f) forma uma base para um plano de implementação. Ajudando você a desenhar como o fluxo inteiro porta a porta deve operar – um pedaço faltante em muitos

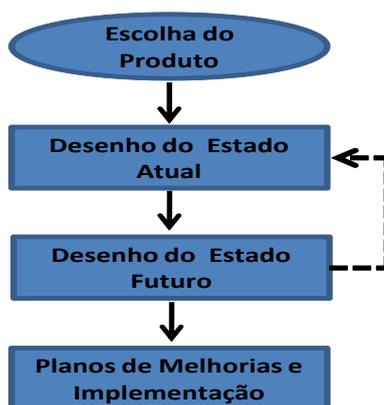
esforços enxutos – mapas de fluxo de valor para que estes se tornem projetos para a implementação enxuta. Imagine tentar construir uma casa sem um projeto;

- g) ele mostra as conexões entre o fluxo de informação e o fluxo de material. Nenhuma outra ferramenta faz isso;
- h) é muito mais útil que métodos quantitativos e diagramas de leaiute que produzem uma grande quantidade de passos sem valor agregado, *lead time*, distância percorrida, a quantidade de inventário, e por aí vai. Mapeamento de Fluxo de Valor é uma ferramenta qualitativa pela qual se descreve, em detalhe, como uma planta deve operar para criar fluxo. Números são bons para criar um senso de urgência ou como medidas de antes/depois. Mapeamento de Fluxo de Valor é bom para descrever o que você realmente vai fazer para afetar estes números.

O Mapeamento de Fluxo de Valor pode ser utilizado de muitas formas: para a obtenção de melhorias em comunicação, no planejamento de negócios ou na gestão de processos. O Mapeamento de Fluxo de Valor é um meio de comunicação, uma linguagem, e para utilizá-la de forma eficaz, é necessário prática formal inicialmente (ROTHER; SHOOK, 1999, p. 7).

Na figura 3, estão representadas as etapas de um Mapeamento de Fluxo de Valor. A finalidade do Mapeamento do Fluxo de Valor é o desenho do estado futuro, em outras palavras, é a representação de como os fluxos de informação e de material deveriam ocorrer na produção de um produto (ROTHER; SHOOK, 1999, p. 7).

Figura 3 – Etapas do Mapeamento de Fluxo de Valor



(fonte: elaborado pelo autor)

Escolhido o produto cujo fluxo de produção se deseja mapear, o próximo passo é representar o estado atual dos fluxos de material e informação deste produto e este passo deve ser realizado com base em informação coletada nos locais onde o produto é transformado. Levando em conta que, durante a determinação do estado atual do fluxo de produção, ideias

para possíveis estados futuros podem surgir, estas duas etapas ocorrem, sob determinada ótica, concomitantemente. Por isso, como é possível perceber, há flechas para ambos os sentidos entre estas duas etapas (ROTHER; SHOOK, 1999, p. 7).

Para, então, atingir o estado futuro, é necessário propor planos de implementação, que devem descrever, de forma sucinta, como é atingido o estado futuro. Mas, para que haja melhoria contínua no fluxo de valor, sempre que o mapa de estado futuro for implementado e tornar-se realidade, deve-se desenhar outro mapa de estado futuro, buscando melhorias adicionais (ROTHER; SHOOK, 1999, p. 7).

3.2.2 Linha de Balanço

A Linha de Balanço é uma ferramenta de planejamento da produção que pode ser utilizada com a finalidade de definir ritmos às atividades críticas – atividades cuja duração interfere diretamente na duração total de um projeto – necessárias à elaboração de uma unidade básica padrão (pavimento, casa, etc.), para que a obra termine no período pré-determinado (SCOMAZZON et al, 1985, p. 6).

Para que se defina o ritmo de uma atividade, deve-se, primeiramente, compreender a definição de curvas de produção. Estas curvas, que são representações do número de unidades básicas padrão realizadas, em função do tempo, estão representadas, para os processos envolvidos na execução da superestrutura e paredes de um edifício, na figura 4. A partir do cálculo da inclinação da curva de produção de determinado processo, tem-se o ritmo deste (no caso da figura 4, em pavimentos por mês). Adicionalmente, pode-se inferir a duração total de um projeto, com base nas curvas de produção de cada processo que o compõe (MENDES JUNIOR, 1999, p. 31).

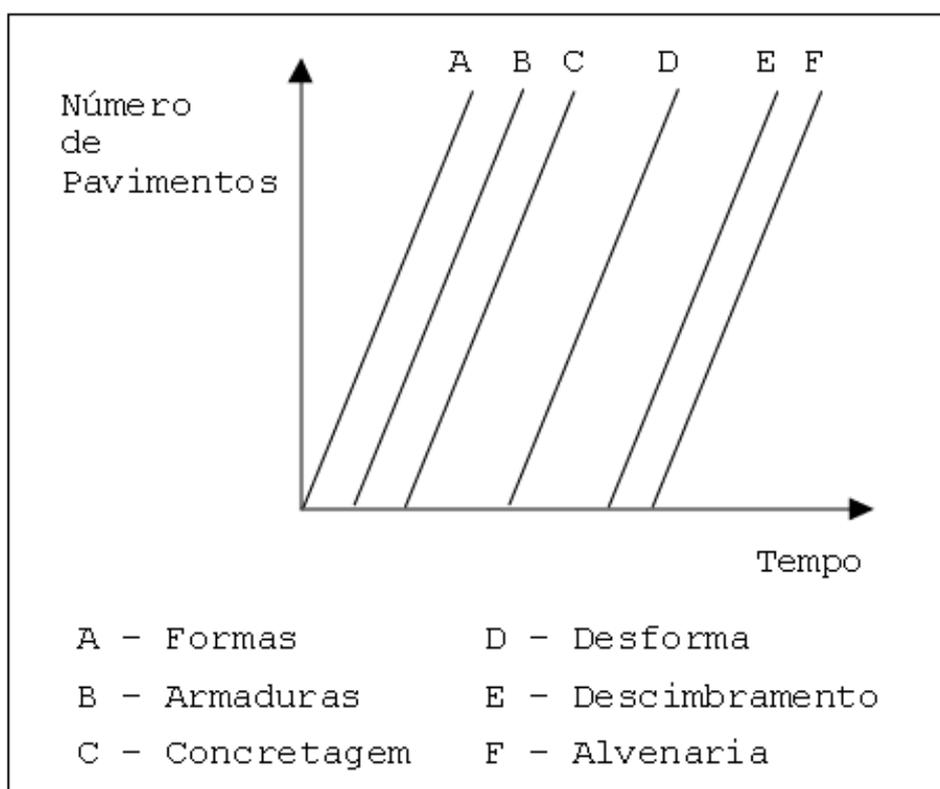
De acordo com Scomazzon et al. (1985, p. 6-7) uma abordagem para a aplicação da técnica da Linha de Balanço pode ser resumida nos seguintes passos:

- a) determinam-se as atividades envolvidas na execução de uma unidade básica e as relações de dependência entre as mesmas;
- b) constrói-se a rede considerando as possibilidades de agregação entre as atividades de acordo com o seguinte critério: quando, de acordo com o desenvolvimento lógico das tarefas em obra, as atividades acontecem consecutivamente e são executadas pela mesma categoria de profissionais, estas atividades poderão ser consideradas como uma única atividade para a qual deverá ser designada uma

equipe. Para a aplicação da técnica, considera-se que, a cada atividade de rede, deverá corresponder uma equipe distinta;

- c) com a rede logicamente estabelecida, estipulam-se a equipe e a duração necessárias para a execução de cada atividade. Calcula-se, então, através do caminho crítico, o tempo total necessário para a execução da unidade básica;
- d) de posse dos parâmetros iniciais (equipes, atividades críticas e tempo de execução da unidade básica) calcula-se o ritmo a ser imposto ao deslocamento das equipes responsáveis por suas respectivas atividades, ao longo das diversas unidades que compõe o canteiro de obras, observando-se a não interferência entre as atividades e o cumprimento do prazo previsto;
- e) finalmente, escolhem-se as escalas adequadas e, num gráfico, plotam-se as retas representativas do desenvolvimento das atividades ao longo do tempo. O gráfico informa a movimentação das equipes ao longo do canteiro da obra.

Figura 4 – Curvas de produção típicas para processos repetitivos



(fonte: MENDES JUNIOR, 1999, p. 31)

3.2.3 Análise de Processo do Produto

Análise de Processo do Produto é uma técnica de análise do fluxo do produto em uma linha de produção. Esta técnica é, na realidade, um meio para análise de processos produtivos, com a finalidade de aprimorar o processo e, como consequência, as operações. Visando aprimorar produtos de forma prática, com redução dos custos, e do tempo necessário à produção, a

Análise de Processo do Produto é uma alternativa bastante eficaz (ISHIWATA, 1991, p. 25-31).

Com a finalidade de representar-se e, posteriormente, realizar a análise de forma adequada, gráficos de processo podem ser utilizados, juntamente a diagramas de fluxo, para a posterior análise das operações (ISHIWATA, 1991, p. 30-31).

De acordo com Ishiwata (1991, p. 31, tradução nossa), a Análise de Processo do Produto tem como finalidade, identificar:

- a) pontos de atraso desnecessários ao longo da linha;
- b) viagens de transporte desnecessárias;
- c) longas distâncias de transporte desnecessárias;
- d) problemas causados pela escolha dos métodos de transporte;
- e) oportunidades de combinar operações e inspeção.

Enquanto são estudadas maneiras de aprimorar:

- a) o leiaute do equipamento;
- b) a seqüência de trabalho;
- c) distribuição das cargas de trabalho.

Ishiwata (1991, p. 31-42) subdivide a Análise de Processo do Produto em sete etapas:

- a) **estudo preliminar.** Necessário para que se compreenda a situação atual do fluxo do produto, esclarecendo os pontos do problema. Entrevistas e relatórios dos envolvidos são úteis, no entanto, presenciar a produção é muito mais eficaz;
- b) **desenho do gráfico de fluxo.** Realizado o acompanhamento do fluxo do produto, deve-se desenhá-lo em um gráfico que descreva a linha de produção durante o processo (figura 5), levando em conta os diferentes tipos de etapas de um processo (figura 6);
- c) **medição de todos os itens do processo.** Após o desenho do gráfico de fluxo, é necessário observar o fluxo de produção do produto no local onde este acontece e medir cada um dos itens necessários ao processo;
- d) **organização dos resultados.** Medidos todos os itens do processo, deve-se organizá-los, de forma que sejam separadas as atividades que agregam valor ao produto, daquelas que não lhe agregam valor. Desta forma, torna-se fácil a visualização das etapas que devem ser minimizadas;

- e) **desenho dos planos de melhorias.** Com auxílio do gráfico de fluxo e com os resultados já organizados, pode-se buscar melhorias no processo, tentando minimizar as atividades que não agregam valor ao produto. Os planos de melhorias, então, podem ser representados em um novo gráfico de fluxo;
- f) **implementação das melhorias.** Realizados e aprovados os planos de melhorias do processo, é necessário implementá-los. Durante a implementação, deve-se treinar os operadores para que estes se adaptem às novas condições de trabalho. Após a fase de adaptação dos trabalhadores, pode-se avaliar os resultados, levando em conta as anormalidades que tenham ocorrido durante a implementação;
- g) **padronização das melhorias.** Caso os resultados avaliados após a implementação das melhorias tenham sido coerentes com as melhorias preconizadas pelos planos, a padronização destas melhorias deve ser efetuada.

Figura 5 – Gráfico do fluxo do processo

Título:	Manufatura de pinos				
Etapas	Fluxo	Equipamento	Distância [m]	Tempo [min]	Pessoas
Corte		Cortador	X	60	1
Transporte		Grua	20	5	2
Medir Comprimento		Calibradores	X	10	2
Transporte		Grua	10	3	2

(fonte: baseado em ISHIWATA, 1991)

Figura 6 – Tipos de etapas de um processo

Tipos de etapas de processo	
	Processamento
	Inspeção
	Transporte
	Espera

(fonte: baseado em ISHIWATA, 1991)

3.2.4 Análise de Operador do Processo

A Análise de Operador do Processo é uma técnica de análise do fluxo dos operadores em uma linha de produção. Esta técnica tem como finalidade auxiliar no estudo da sequência de tarefas realizadas pelo operador, através de gráficos de análise das operações e meios de identificação de perdas nas operações e de possíveis melhorias nestas. Apesar de a Análise de Processo do Produto ter como enfoque o fluxo do produto através do processo e, a Análise de Operador do Processo se ater ao fluxo do trabalho do operador dentro do processo, as etapas de cada técnica são, sob certa ótica, as mesmas (ISHIWATA, 1991, p. 69-70).

Ishiwata (1991, p. 71-77) subdivide a Análise de Operador do Processo em sete etapas:

- a) **estudo preliminar.** Da mesma forma que na Análise de Processo do Produto, é fundamental que se presencie a produção, sem dispensar o auxílio de entrevistas e relatórios dos envolvidos. No caso da Análise de Operador do Processo, é essencial que se utilize como objetos de análise operadores que representem a média de proficiência de todos os operadores envolvidos;
- b) **desenho do gráfico das operações.** Realizado o acompanhamento do fluxo dos operadores, deve-se desenhá-lo em um gráfico (figura 7) que descreva as atividades dos operadores, levando em conta os diferentes tipos de atividades destas operações (figura 8);
- c) **medição de todos os itens das operações.** Após o desenho do gráfico das operações, é necessário observar o fluxo de operações necessárias à produção do produto, nos locais onde estas acontecem e medir tempos e distâncias necessários a cada atividade destes operadores, enquanto realizam estas atividades;
- d) **organização dos resultados.** Medidos todos os itens das operações, deve-se organizá-lo, de forma que sejam separadas as atividades realizadas pelos operadores que agregam valor ao produto, daquelas que não lhe agregam valor. Desta forma, torna-se fácil a visualização das etapas que devem ser minimizadas;
- e) **desenho dos planos de melhorias.** Com auxílio do gráfico das operações e com os resultados já organizados, pode-se buscar melhorias nas operações, tentando minimizar as atividades que não agregam valor ao produto. Os planos de melhorias, então, podem ser representados em um novo gráfico das operações;
- f) **implementação das melhorias.** Realizados e aprovados os planos de melhorias das operações, é necessário implementá-los. Durante a implementação, deve-se treinar os operadores para que estes se adaptem às novas condições de trabalho. Após a fase de adaptação dos trabalhadores, pode-se avaliar os resultados, levando em conta as anormalidades durante a implementação;

- g) **padronização das melhorias.** Caso os resultados avaliados após a implementação das melhorias tenham sido coerentes com as melhorias preconizadas pelos planos, a padronização destas melhorias deve ser efetuada.

Figura 7 – Gráfico das operações

Título:		Operações Matinais		
Atividades		Fluxo	Distância [m]	Tempo [seg]
1	Acordar		X	60
2	Ir do quarto ao banheiro		20	5
3	Usar banheiro		X	10
4	Ir do banheiro à pia do banheiro		10	3

(fonte: baseado em ISHIWATA, 1991)

Figura 8 – Tipos de etapas de uma operação

Tipos de etapas de operação	
	Processamento
	Inspeção
	Transporte
	Estocagem

(fonte: baseado em ISHIWATA, 1991)

3.2.5 Análise de Operação Combinada

Normalmente, os processos em uma linha de produção são compostos de várias combinações entre pessoas e máquinas e não apenas de uma única operação realizada por um único operador (ISHIWATA, 1991, p. 97).

Segundo Ishiwata (1991, p. 97, tradução nossa), as combinações mais comuns são:

- a) um operador trabalhando com uma máquina;
- b) um operador trabalhando com várias máquinas;
- c) várias pessoas trabalhando juntas;
- d) várias pessoas trabalhando com uma máquina;
- e) várias pessoas trabalhando com várias máquinas.

Para Ishiwata (1991, p. 97-99), a Análise de Operação Combinada é uma ferramenta eficaz para aumentar a eficiência de operações conjuntas como as citadas anteriormente. Estas operações são mais complexas que aquelas realizadas por um único operador e, portanto, são mais suscetíveis a atrasos e obstáculos. O propósito desta análise é a realização de melhorias corretivas nas operações, através da identificação de perdas em termos de esperas e ociosidades. E, para que esta identificação seja realizada, é necessário definir como os operadores e máquinas se inter-relacionam.

De acordo com Ishiwata (1991, p. 99), os objetivos da Análise de Operação Combinada são:

- a) eliminar tempo ocioso de máquina, como consequência, aumentando a taxa de capacidade de utilização;
- b) eliminar tempo de espera de operador, como consequência, aumentando a eficiência de trabalho (tal como reduzindo as exigências de trabalho e/ou aumentando a produtividade do trabalhador);
- c) equalizando a distribuição de trabalho entre operadores e máquinas;
- d) atribuindo o número ótimo de máquinas por operador;
- e) atribuindo o número ótimo de operadores para operações conjuntas.

3.2.5.1 Análise de Operador-Máquina

Visando reduzir desperdícios em termos de ociosidades de máquinas, a Análise de Operador-Máquina identifica em qual momento e de que maneira estas ociosidades estão ocorrendo. Em outras palavras, a Análise de Operador-Máquina é uma técnica cuja finalidade é determinar a relação entre os tempos de operação de operadores humanos e máquinas, visando à redução de ociosidades nestas operações (ISHIWATA, 1991, p. 99-100).

Segundo Ishiwata (1991, p. 100, tradução nossa), a Análise de Operador-Máquina estuda:

- a) como aumentar o rendimento da produção (usando o atual número de máquinas);
- b) como calcular o número ótimo de máquinas por operador (como, por exemplo, garantindo uma distribuição igual de trabalho entre operadores, aumentando o número de máquinas e/ou aumentando o número de operadores, quando possível);
- c) como manter o atual rendimento da produção, utilizando menos máquinas.

De acordo com Ishiwata (1991, p. 101-107), as etapas da Análise de Operador-Máquina são:

- a) estudo preliminar;
- b) análise do ciclo de operação;
- c) organização dos tempos de operação;
- d) medição dos tempos de cada passo da operação;
- e) desenho do gráfico operador-máquina (figura 9);
- f) definição de planos de melhorias;
- g) implementação e avaliação dos planos de melhorias;
- h) padronização das melhorias.

Figura 9 – Gráfico operador-máquina

Tempo [min]	Trabalhador		Máquina				Tempo [min]
	A	Tempo	1	Tempo	2	Tempo	
1							1
2	Transição máquina 1	3	Transição	3	Processamento	3	2
3							3
4							4
4	de 1 para 2	0,1	Processamento	2	Tempo ocioso	0,1	4
5	5						
6	Transição máquina 2	4,9	Tempo ocioso	3,1	Transição	4,9	6
7							7
8							8
	de 2 para 1	0,1			Processamento	0,1	

(fonte: baseado em ISHIWATA, 1991)

3.2.5.2 Análise de Operação Conjunta

Ishiwata (1991, p. 107) define a Análise de Operação Conjunta como uma técnica que visa à eliminação de desperdício, irracionalidade e inconsistência nas operações, através da análise das inter-relações temporais entre operadores.

De acordo com Ishiwata (1991, p. 108, tradução nossa), para realizar uma Análise de Operação Conjunta, deve-se estudar:

- a) esperas experienciadas por cada operador;
- b) utilização da capacidade de trabalho de cada operador;
- c) qual das suas tarefas conjuntas dura mais tempo.

Com objetivo de alcançar resultados como:

- a) melhorias na distribuição da carga de trabalho para eliminar tempos de espera nas operações;
- b) atribuições pessoais otimizadas;
- c) melhorias nas tarefas mais longas para reduzir o tempo total de operação.

As nove etapas que compõe a Análise de Operador-Máquina são as mesmas etapas que constituem a Análise de Operação Conjunta. De forma sucinta, é necessário, primeiramente, realizar uma Análise de Operador do Processo para todos os operadores e, utilizando os resultados desta análise, definir os tempos das suas operações conjuntas. Então, deve-se propor uma forma melhor de organizá-los e representá-la em um gráfico para que os planos de melhorias possam ser realizados, implementados e padronizados (ISHIWATA, 1991, p. 108-115).

3.2.6 Estudo de Tempos e de Movimentos

Desenvolvido por Taylor e pelo casal Gilbreth, o Estudo de Tempos e de Movimentos deve ser realizado com abordagem sistemática e é composto pelas seguintes etapas (BARNES, 1977, p. 1):

- a) desenvolvimento do sistema e do método mais adequados;
- b) padronização do sistema e do método;

- c) definição da duração de uma tarefa, com base no acompanhamento de um operador qualificado executando-a, em ritmo usual;
- d) realização de treinamento deste operador, para que se adapte ao método desenvolvido.

Dentro do contexto do Estudo de Tempos e de Movimentos, o Estudo de Micromovimentos pode, também, ser aplicado. Esta técnica consiste no registro e medição de tempo de execução de determinada atividade. Basicamente, para realizar o Estudo de Micromovimentos, deve-se filmar a operação, de forma que este filme se torne um registro permanente da forma de execução desta operação (BARNES, 1977, p. 101).

Em relação ao Estudo de Tempos, Barnes (1977, p. 272) afirma que “O Estudo de Tempos é usado na determinação do tempo necessário para uma pessoa qualificada e bem treinada, trabalhando em um ritmo normal, executar uma tarefa especificada.”.

Adicionalmente, Barnes (1977, p. 277-279) cita oito etapas normalmente necessárias em um Estudo de Tempos:

- a) obtenha e registre informações sobre a operação e o operador em estudo;
- b) divida a operação em elementos e registre uma descrição completa do método;
- c) observe e registre o tempo gasto pelo operador;
- d) determine o número de ciclos a ser determinado;
- e) avalie o ritmo do operador;
- f) verifique se foi cronometrado um número suficiente de ciclos;
- g) determine as tolerâncias;
- h) determine o tempo-padrão para a operação.

3.3 PROCESSO EXECUTIVO DE ESTRUTURAS CONVENCIONAIS DE CONCRETO ARMADO

Neste item, é descrito o processo executivo de estruturas convencionais de concreto armado, incluso os elementos necessários a este processo, o detalhamento deste processo e as características da forma na qual as equipes envolvidas neste processo se organizam.

O objetivo deste capítulo é a compreensão de todas as particularidades do processo em estudo, visando posteriormente aprimorá-lo com uso das ferramentas de planejamento da produção do STP.

3.3.1 Elementos necessários

Segundo Souto (2000, p. 111-112), Três elementos básicos são necessários à construção de estruturas convencionais de concreto armado:

- a) projetos: definem a concepção e como o produto deve estar configurado após ser executado
- b) matérias-primas: “objetos” que são transformados ao longo do processo
- c) pessoas/equipamentos: agentes transformadores da mudança

A etapa de projetos tem começo na elaboração do projeto arquitetônico, onde as disposições das dependências e suas dimensões são definidas. Então, o calculista estrutural determina a solução estrutural na forma de projetos estruturais, levando em conta o custo, a exequibilidade e as limitações arquitetônicas. Finalmente, os projetos de formas, elétricos e hidráulicos são elaborados, levando em conta as soluções arquitetônica e estrutural já definidas (SOUTO, 2000, p. 112).

Apesar de aparentemente linear, esta etapa de projetos é normalmente sujeita a erros de compatibilidade, portanto, faz-se necessária a compatibilidade destes projetos por profissional qualificado. Realizada esta compatibilidade, pode-se passar à fase de execução (SOUTO, 2000, p. 112).

De acordo com Souto (2000, p. 113), o produto – a estrutura de um pavimento – é produzido a partir das informações dos projetos:

- a) de formas: que determina quais e quantas peças deverão ser utilizadas na construção da estrutura do pavimento;
- b) estrutural: que determina a quantidade e a disposição da ferragem necessária em cada viga, laje e pilar, além de fornecer o tipo de concreto utilizado no pavimento;
- c) projetos complementares: tais como os projetos elétricos e hidráulicos, que determinam a quantidade e disposição das passagens na laje.

Por fim, com base nas informações levantadas nos projetos, pode-se quantificar as matérias-primas e determinar os equipamentos e equipes necessários ao processo executivo (SOUTO, 2000, p. 113).

3.3.2 Detalhamento do processo executivo

Neste item, as etapas do processo executivo de estruturas convencionais de concreto armado são descritas com base em literatura técnica.

3.3.2.1 Confeção das Formas

Para que a confecção das formas possa ser realizada, o material necessário – chapas de compensado, pontaletes, tábuas, sarrafos, etc... – tem de estar disponível no canteiro de obras. Adicionalmente, a central de carpintaria há de estar montada e equipada (YAZIGI, 2009, p. 239).

As limitações de tamanho e peso devem ser levadas em consideração durante a confecção dos painéis, facilitando o transporte, a montagem e a desforma destes (YAZIGI, 2009, p. 239).

As peças que compõem as formas têm de ser aparelhadas e os painéis, com exceção daqueles que formam os soalhos de laje, precisam ser estruturados. Furos nos painéis têm de ser eventualmente executados e caixas têm de ser embutidas nas formas para posterior colocação das canalizações (YAZIGI, 2009, p. 239).

O cimbramento – que pode ser tanto metálico quanto de madeira – deve ser marcado para facilitar o processo de montagem (YAZIGI, 2009, p. 239).

Realizadas as adequações necessárias às formas, estas devem ser armazenadas cobertas e empilhadas, evitando pilhas de alturas elevadas, em razão das sobrecargas resultantes nas peças (YAZIGI, 2009, p. 240).

3.3.2.2 Montagem das Formas

Inicialmente, a marcação das posições dos pilares, de acordo com os projetos estruturais, deve ser efetuada. Realizadas as marcações, os engastalhos – peças de madeira que delimitam as seções transversais dos pilares – têm de ser fixados (YAZIGI, 2009, p. 241).

Depois, para que os painéis laterais dos pilares possam ser fixados às bases dos pilares, deve-se verificar as alturas de topo dos pilares nos projetos estruturais. Em seguida, três dos quatro painéis dos pilares devem ser montados no chão e, após fixadas as armaduras dos pilares em suas respectivas posições, podem ser erguidos e fixados aos ganchos. Então, o quarto painel deve ser fixado aos outros três (YAZIGI, 2009, p. 241).

Escoras laterais têm de ser fixadas aos painéis para que seu posicionamento seja adequado ao previsto em projeto. Além disso, tubos de PVC rígido têm de atravessar o pilar, para que barras de ancoragem roscadas ou ferros de amarração possam ser fixados, visando posterior travamento das formas dos pilares (YAZIGI, 2009, p. 241).

Montadas as formas dos pilares, a montagem das formas de vigas pode iniciar. O primeiro passo é a colocação das tábuas de fundos de vigas, apoiando-as no topo das formas de pilares e em algumas escoras, quando necessário (YAZIGI, 2009, p. 241).

Então, o restante das escoras de vigas deve ser posicionado, nivelado e adequadamente fixado às tábuas de fundo das vigas. Posteriormente, deve-se posicionar os painéis laterais das vigas, fixando-os nas extremidades das tábuas de fundo. Em seguida, os painéis laterais das vigas devem ser travados da mesma forma dos painéis dos pilares (YAZIGI, 2009, p. 241).

Para que a montagem das formas de lajes seja executada, inicialmente deve-se posicionar parte das escoras que as suportam. Então, longarinas apoiadas nas formas das vigas e nas escoras já posicionadas devem ser colocadas. Apoiadas nas longarinas, transversinas devem ser posicionadas, gerando uma malha que serve de apoio às chapas de compensado de fundo das lajes (YAZIGI, 2009, p. 242).

Em seguida, as chapas de compensado devem ser lançadas sobre as transversinas e fixadas nestas e nos painéis laterais das vigas. Então, o restante das escoras deve ser posicionado e fixado sob as longarinas e o nivelamento das formas de lajes deve ser verificado e, se necessário, ajustado (YAZIGI, 2009, p. 242).

As caixas e nichos para passagem de tubulações previstas nos projetos devem ser posicionados nas formas antes das concretagens (YAZIGI, 2009, p. 242).

3.3.2.3 Desforma

Depois de concretados e curados os pilares, vigas e lajes e passado o tempo necessário especificado pelo projetista estrutural, a desforma pode iniciar (YAZIGI, 2009, p. 242).

Começa-se pela desforma dos pilares, inicialmente pela liberação do travamento. Depois, devem ser retirados os painéis laterais dos pilares e os tubos passantes de PVC, utilizando um pequeno ponteiro (YAZIGI, 2009, p. 243).

Então, os painéis laterais das vigas devem ser desformados, destravando-os primeiramente e, retirando-os com uso de cunhas. Posteriormente, o escoramento deve ser retirado, levando em conta que parte deste deve permanecer, conforme recomendações do projetista estrutural. Em seguida, as tábuas de fundos de vigas, as longarinas, as transversinas e as chapas de compensado de fundos de lajes podem ser desformados (YAZIGI, 2009, p. 243).

3.3.2.4 Montagem das armaduras

Tendo-se as armaduras cortadas, dobradas e adequadamente estocadas, pode-se montá-las. A montagem das armaduras dos pilares e vigas é realizada de forma bastante semelhante. Primeiramente, posiciona-se duas barras de aço, depois, coloca-se os estribos, fixando somente os das extremidades. Então, as demais barras devem ser posicionadas e amarradas aos estribos das extremidades. Em seguida, os espaçamentos e número de barras devem ser conferidos. Depois de fixadas armaduras dos pilares e vigas, devem ser colocados os espaçadores, para que o cobrimento das armaduras seja garantido (YAZIGI, 2009, p. 245).

Para a montagem das armaduras das lajes é necessário, primeiramente, posicionar as barras da armadura inferior e posteriormente as barras de armadura superior, que devem ser amarradas às armaduras das vigas. Deve-se levar em conta, também, os reforços no entorno de furos, e o afastamento dos espaçadores, segundo orientações do projetista estrutural (YAZIGI, 2009, p. 246).

3.3.2.5 Lançamento e adensamento do concreto

Executadas as formas, posicionadas as armaduras, tomadas as medidas referentes à segurança necessárias e realizado o controle do concreto, o concreto pode ser lançado e adensado. Para lançá-lo, deve-se posicionar a tubulação e lubrificá-la, anteriormente (YAZIGI, 2009, p. 251-261).

Então, deve-se seguir o lançamento do concreto seguindo o plano de concretagem, terminando com a concretagem da escada. Logo após o lançamento do concreto em uma peça deve-se espalhá-lo com uso de equipamento vibrador (YAZIGI, 2009, p. 252).

Depois do lançamento do concreto em lajes, deve-se planificá-las com uso de equipamento de desempenho adequado e curá-las com água por período especificado pelo projetista estrutural (YAZIGI, 2009, p. 253-263).

3.3.3 Organização das equipes do processo

As equipes envolvidas na execução de estruturas convencionais de concreto armado são equipes semi-autônomas. Estas equipes foram inicialmente caracterizadas em estudos sócio-técnicos, estudos que dão maior ênfase ao subsistema social das organizações, levando em conta os indivíduos e grupos de indivíduos, seus comportamentos, suas capacidades, cultura, sentimentos e tudo de humano que os acompanha (BIAZZI JR., 1994, p. 33).

Os estudos sócio-técnicos caracterizam os grupos semi-autônomos como aqueles em que há responsabilidade coletiva frente a um conjunto de tarefas, onde o arranjo do trabalho é definido com a participação de seus próprios membros, permitindo o aprendizado de todas as tarefas e a rotação das funções, e facilitando uma interação cooperativa. O grupo semi-autônomo deve ainda ser responsável pelos recursos à sua disposição e ter autoridade para utilizá-los (BIAZZI JR., 1994, p. 33).

De acordo com Biazzi Jr. (1994, p. 34), a abordagem da Escola Sócio-Técnica engloba os três seguintes níveis, que devem ser tratados de forma harmônica e coerente para que a organização e os indivíduos que as integram possam se desenvolver e se integrar, ou seja, nível:

- a) dos sistemas de trabalho primários;
- b) da organização como um todo;
- c) macrosocial (abarca os sistemas de organizações).

3.4 MÉTODO PARA PLANEJAMENTO DA EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS RACIONALIZADAS

Neste item, é descrito o método para planejamento da execução de estruturas de concreto com elementos pré-fabricados estudado, para posterior adaptação do mesmo ao processo executivo de estruturas convencionais de concreto armado. Ainda, um estudo sobre trabalho padronizado na construção civil é brevemente descrito, visto que este serviu de embasamento à elaboração do método apresentado.

O método elaborado parte dos princípios, conceitos e ferramentas do STP, levando em conta as particularidades do processo executivo de estruturas racionalizadas. Este método para planejamento da execução de estruturas de concreto com elementos pré-fabricados parte do planejamento dos lotes de produção e transferência e da organização de equipes e equipamentos e visa atender ao *takt time* do processo (ZUCHETTI, 2013, p. 137).

O método para planejamento da produção busca o equilíbrio entre a padronização de processo e operações com a preservação da autonomia das equipes. O objetivo da obtenção deste equilíbrio é conferir maior senso de responsabilidade ao grupo, permitindo, simultaneamente, a variação das atividades mesmo quando necessário elevado grau de padronização (ZUCHETTI, 2013, p. 137).

Este método trata de três diferentes níveis de planejamento. Os três níveis e particularidades do estudo de caso realizado para a elaboração do método estão descritos abaixo:

- a) o primeiro nível, denominado nível do serviço, tem como principal preocupação resolver o problema de definição da unidade-base e do atendimento ao tempo de ciclo máximo do processo, determinado a partir do *takt time* decorrente do prazo definido no planejamento de longo prazo. Nos casos estudados neste trabalho, lote (unidade-base) foi inicialmente definido como um pavimento, a serem executados a cada 10 dias;
- b) o segundo nível, denominado nível da equipe, o processo da unidade-base é definido de forma que, uma vez sendo o trabalho atribuído às diferentes equipes, torna-se possível definir **como** será possível às várias equipes concluírem o trabalho no tempo de ciclo definido no nível do serviço (planejamento das operações das equipes). Neste nível, define-se a forma de coordenação entre as equipes e os prazos que deverão obrigatoriamente ser cumpridos, tanto individualmente como em conjunto;

- c) no terceiro nível, denominado nível do operário, são detalhadas as operações dos operários, tanto individualmente como em conjunto. O principal objetivo deste nível é definir os papéis a serem desempenhados pelos operários e permitir a coordenação das atividades entre os mesmos. Tais papéis, porém, não são atribuídos diretamente aos operários, sendo que a responsabilidade desta atribuição fica delegada a cada equipe. Apesar de haver a distinção das tarefas para algumas equipes específicas, elas têm total liberdade para se organizar da maneira que preferirem. O objetivo principal nesse nível é difundir a meta a ser atingida, e que ela seja cumprida (ZUCHETTI, p. 137-138, 2013).

Em relação ao trabalho padronizado, Fazinga (2012, p. 137-142) demonstrou que esta ferramenta é potencialmente eficaz para o gerenciamento do processo produtivo na construção, desde que sejam realizadas adaptações pertinentes.

Neste estudo sobre trabalho padronizado, as interações entre os princípios do STP e do trabalho padronizado foram estudados e verificados. De acordo com Fazinga (2012, p. 29):

Os fundamentos da produção JIT e da autonomia são fortemente apoiados pelo trabalho padronizado (TP). O TP define objetivos e um método a ser seguido por todos os envolvidos na produção, com o propósito de obter resultados estáveis, além de manter uma velocidade da produção atrelada à demanda. Representa, portanto, uma ferramenta para a redução da variabilidade para que o JIT e a autonomia possam ser mantidos.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo é descrito o método de pesquisa adotado para a realização do trabalho, assim como as fontes de coleta de dados necessários à realização do trabalho.

4.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa escolhido para a realização da coleta e análise de dados é o Estudo de Caso. Este método consiste na investigação empírica que tem como objeto de estudo um fenômeno contemporâneo complexo em seu contexto real, levando em conta as dificuldades na separação entre o fenômeno em estudo e o contexto na qual este está inserido (YIN, 2010, p. 39).

Como o fenômeno em estudo e o contexto na qual este está inserido são de difícil distinção em situações reais, torna-se necessária a utilização de técnicas para a coleta e análise de dados da pesquisa (YIN, 2010, p. 40).

Além disso, o Estudo de Caso necessita de princípios teóricos que orientem a coleta e análise de dados e múltiplas fontes de evidências, visto que há muito mais variáveis de interesse do que pontos de dados (YIN, 2010, p. 40).

Visto que o fenômeno de estudo deste trabalho é o processo executivo de estruturas convencionais de concreto armado, foram coletados e analisados dados de obras em que este processo estava sendo executado.

O contexto na qual este fenômeno se insere engloba outros processos distintos, mas que são indiretamente afetados pela forma como se dá o processo em estudo, como a execução das alvenarias ou do reboco de fachada. Adicionalmente, processos que ocorrem fora do espaço físico do canteiro de obras, mas sofrem influência do processo em estudo, também fazem parte do contexto, como o fornecimento de matéria-prima por parte dos fornecedores ou a alocação dos empregados da empreiteira nas diversas obras em que esta presta serviços. Portanto, a compreensão da forma com a qual o contexto interage com o processo em estudo foi fundamental para a correta realização da coleta e da análise dos dados.

De acordo com Yin (2010, p. 85-86), os estudos de casos múltiplos são preferíveis em relação aos estudos de caso únicos, por algumas razões. Primeiramente, mesmo com apenas dois casos, torna-se possível realizar replicação direta. Adicionalmente, as conclusões analíticas que surgem de dois casos independentes, assim como em dois experimentos, são mais relevantes do que as provenientes de um único caso isolado. Por fim, a realização de estudos de casos múltiplos pode reduzir críticas e ceticismo relativos à peculiaridade e às condições artesanais de um estudo de caso único.

Pelas razões citadas acima, optou-se por realizar estudos de casos múltiplos, sendo cada caso estudado o processo executivo de uma estrutura convencional de concreto armado.

4.2 FONTES DE COLETA DE DADOS

As fontes de coleta de dados mais comumente utilizadas na realização de estudos de caso são: documentação, registros em arquivos, observações diretas, observação participante, entrevistas e artefatos físicos. Estas fontes são altamente complementares e, por esta razão, é desejável utilizar tantas fontes quanto possível (YIN, 2010, p. 127-128).

Na coleta de dados deste trabalho, as fontes de coleta de dados utilizadas foram: registros em arquivo, observações diretas e entrevistas.

4.2.1 Registros em arquivos

De acordo com Yin (2010, p. 132), os registros em arquivos, que incluem registros de serviços ou registros organizacionais, podem ter alta relevância na análise de dados de um estudo de caso.

Durante a realização do trabalho, diversos tipos de registros em arquivos foram utilizados, incluso projetos estruturais, arquitetônicos e auxiliares, cronogramas e orçamentos. Com uso destes arquivos foi possível realizar os estudos de casos de forma mais acurada, visando reduzir o tempo de ciclo da estrutura convencional de concreto armado, mas levando em conta os fatores custo e qualidade de execução do processo nas análises.

4.2.2 Observações diretas

Visto que o estudo de caso ocorre no local do caso, a observação direta é uma fonte de coleta de dados fundamental. Os instrumentos utilizados na observação direta variam de acordo com cada estudo de caso (YIN, 2010, p. 136).

Para a realização do trabalho, foram observadas todas as atividades necessárias à execução de um pavimento tipo da estrutura convencional de concreto armado por estudo de caso realizado. A observação direta é a fonte de evidência mais relevante para este trabalho, já que o fenômeno em estudo é um processo produtivo.

Os instrumentos utilizados para a observação direta incluíram máquina fotográfica, para ilustração das características do processo e transmissão de informações visuais fundamentais aos observadores externos, e máquina filmadora, necessária para registrar o fluxo de produção e as operações do processo em estudo.

4.2.3 Entrevistas

De acordo com Yin (2010, p. 133), a entrevista é uma das fontes de informação mais importante em um estudo de caso. Além disso, as entrevistas não devem ser tratadas como investigações estruturadas, mas, como conversas guiadas, com correntes de questões fluídas e não, rígidas.

Ainda, segundo Yin (2010, p. 133), mesmo que se queira saber a razão da ocorrência de um processo de certo modo, não é a melhor estratégia utilizar a expressão “por que” em uma entrevista, já que esta coloca o informante em uma posição defensiva. O termo “como” é mais adequado, visto que a entrevista se torna mais amigável.

Durantes os estudos de casos, diversas entrevistas com os envolvidos foram realizadas, incluso engenheiros da construtora, engenheiros projetistas, mestres de obras, empreiteiros, carpinteiros, ferreiros, pedreiros, eletricitas, hidráulicos e serventes. As entrevistas foram realizadas de forma espontânea e fluída e, no geral, informal. O termo “como” foi utilizado em detrimento da expressão “por que”, tornando as entrevistas mais amigáveis.

Através das entrevistas realizadas, obteve-se opiniões, reivindicações e sugestões dos trabalhadores e gestões da obra em relação à organização dos equipamentos e equipes de

trabalho e do método construtivo utilizado. Adicionalmente, através das entrevistas com os engenheiros projetistas, tomou-se conhecimento profundo das condições e restrições técnicas do método construtivo.

5 ESTUDOS DE CASOS

Embasado nos estudos realizados durante a etapa de pesquisa bibliográfica e no método de pesquisa descritos anteriormente, foram estabelecidos os planos de organização das equipes e equipamentos. Como é de interesse da empresa a implementação destes planos, é importante que haja ampla discussão entre os engenheiros, sócios e outros envolvidos.

Neste capítulo, primeiro a empresa cujos estudos de casos foram realizados é descrita, então o acompanhamento da execução e do planejamento destes processos são relatados e, por fim, os planos de melhorias são propostos.

5.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A empresa escolhida para a realização do trabalho é considerada de médio porte para o setor e foi fundada há mais de 25 anos, atuando no mercado imobiliário desde então. Sempre atuou no mercado imobiliário de Porto Alegre, tendo em seu portfólio cerca de 60 edifícios residenciais construídos até o presente momento.

O foco da empresa engloba basicamente incorporação e construção de imóveis de médio-alto padrão. Os imóveis são, no geral, voltados para as classes B e A e são vendidos em planta, sem necessidade de financiamento bancário.

Para a execução destes imóveis, empreiteiras de mão de obra são contratadas e administradas pelos engenheiros da construtora em questão. Estas empreiteiras alocam sua mão de obra de acordo com as necessidades e prazos previstos pela construtora.

Em relação às tecnologias construtivas empregadas em suas obras, pode-se dizer que segue as práticas comuns a empresas de médio porte do setor e não visa diferenciação em relação ao mercado neste quesito. Os métodos construtivos, definidos pelas empreiteiras e engenheiros em conjunto, também não são considerados inovadores.

Apesar do bom reconhecimento da empresa em termos de confiabilidade e custo-benefício de seus empreendimentos, os prazos previstos eventualmente não são atendidos. Tendo isto em

vista, foram analisados dois empreendimentos desta empresa, buscando a redução do tempo de execução do processo executivo da etapa estrutura de ambos.

5.2 ESTUDO DE CASO 1

O primeiro estudo de caso foi realizado em uma obra localizada em Porto Alegre, com 9 pavimentos, sem subsolo. As fotos do edifício durante a execução da estrutura e pronto podem ser vistas nas figuras 10 e 11, respectivamente.

Figura 10 – Estrutura do estudo de caso 1



(fonte: elaborado pelo autor)

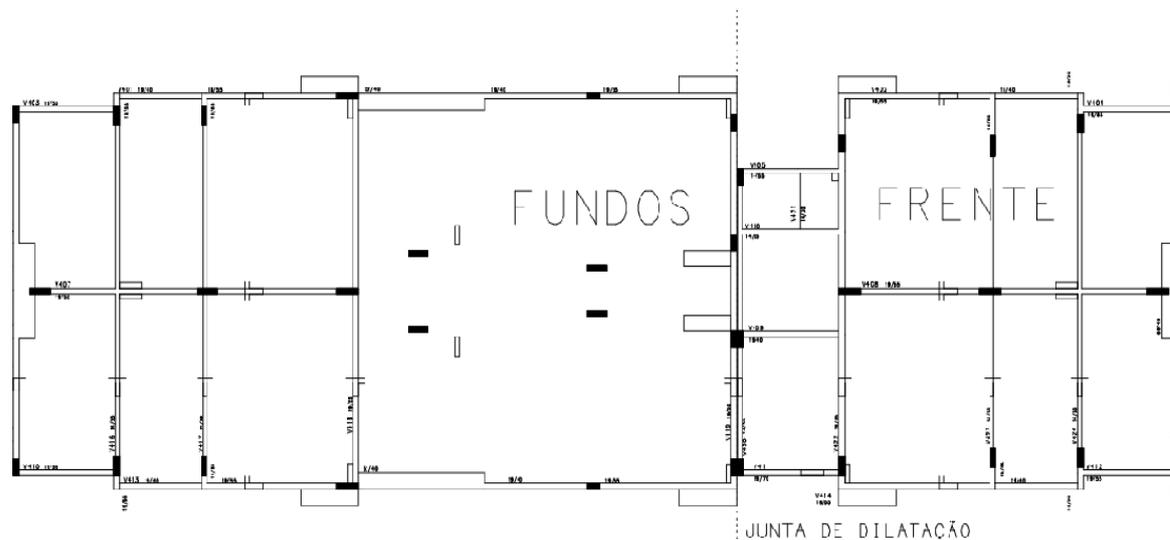
Figura 11 – Edifício do estudo de caso 1



(fonte: foto do autor)

Esta obra possui 5 pavimentos tipo, no entanto, o terceiro pavimento e a cobertura possuem estrutura bastante semelhante aos pavimentos tipo, portanto, pode-se considerar que, para este trabalho, há 7 pavimentos repetidos no edifício. Cada pavimento repetido possui cerca de 400 m² de área, com junta de dilatação como pode ser visto na figura 12.

Figura 12 – Planta baixa do estudo de caso 1



(fonte: elaborado pelo autor)

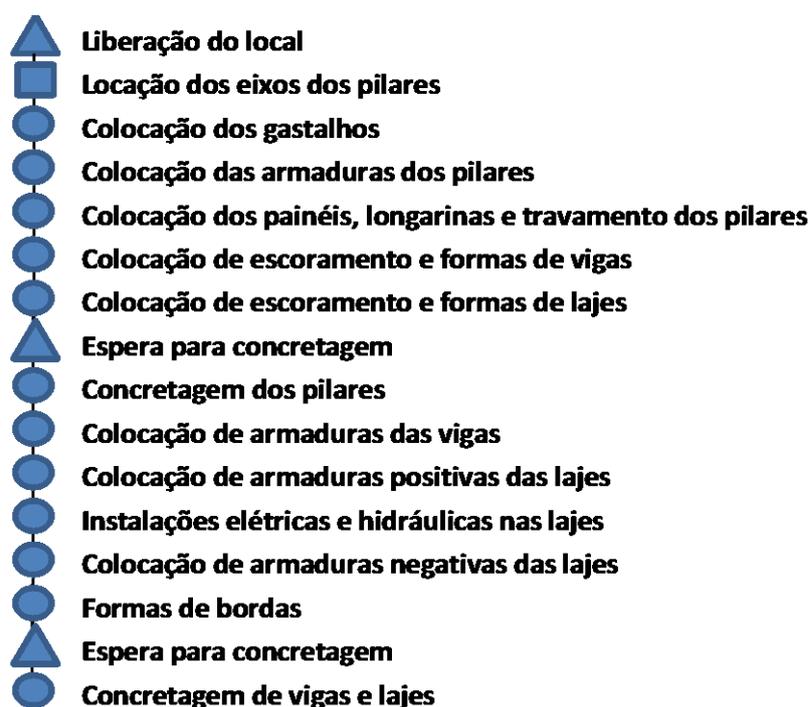
5.2.1 Acompanhamento do planejamento

O processo de planejamento da execução da estrutura convencional de concreto armado em estudo foi determinado com base em documentos, observações e entrevistas com os responsáveis. Este processo está descrito ao longo deste item.

Os principais insumos utilizados na execução da estrutura são o concreto e o aço para concreto, previamente cortado e dobrado. As armaduras dos pilares, vigas e armaduras superiores eram montadas no pavimento térreo, depositadas em local pré-determinado e posteriormente içadas ao pavimento em que correspondem. A execução da estrutura incluía um sistema de formas de madeira produzidas no local, previamente à execução da estrutura. Posteriormente, este era posicionado no local da estrutura dos pavimentos e transferido ao pavimento superior depois da desforma da estrutura. Ainda, havia escoramento de madeira cortado em bancada no pavimento térreo e ajustado no local.

O processo executivo da estrutura, na forma como foi concebido, está representado na figura 13. Ele tem início com a liberação do local, quando é realizada a locação dos eixos de referência. Logo após, segue-se a fixação dos ganchos na base dos pilares e colocação das armaduras destes. São então colocados os painéis e longarinas dos pilares, vindos do pavimento inferior, e estes são travados. Segue-se à fixação do escoramento e montagem das formas de vigas. Então, passa-se à colocação das formas de lajes – longarinas, transversinas e chapas de compensado – e seu escoramento. Posteriormente, a concretagem dos pilares é realizada, seguida de espera mínima de 12 horas para cura preliminar. São então posicionadas as armaduras das vigas e colocadas as armaduras positivas das lajes. Após o posicionamento destas armaduras, as instalações elétricas e hidráulicas são montadas e as armaduras negativas – previamente montadas – são posicionadas. Então, nas lajes situadas no perímetro externo do pavimento e nos *shafts* ainda se faz necessário o posicionamento das formas de bordas, para então ser realizada a concretagem de vigas e lajes.

Figura 13 – Etapas do processo do estudo de caso 1

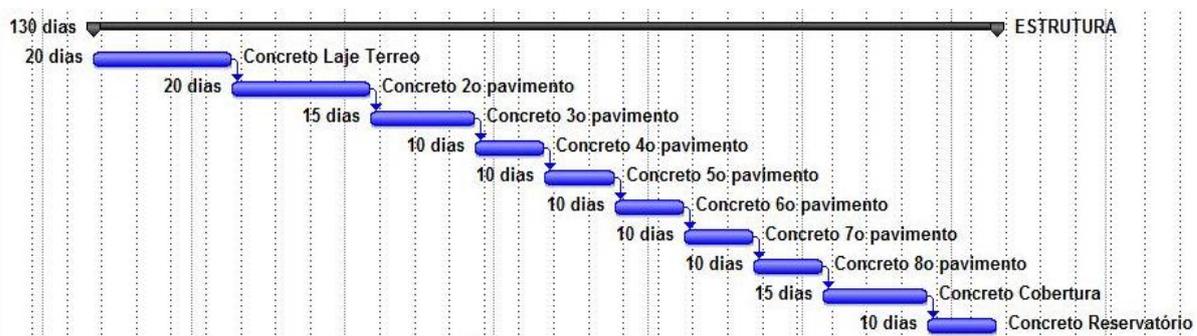


(fonte: elaborado pelo autor)

Em função do prazo definido para a execução da estrutura, a produção dos pavimentos foi planejada de forma a atender um tempo de conclusão entre lajes sucessivas (*takt-time*) de dez dias. Não foi prevista nenhuma superposição entre a execução de diferentes pavimentos ou divisão entre trechos, visto que, para atendimento do tempo de execução requerido, não

aparentava haver necessidade. Pode-se observar, no gráfico da figura 14, o planejamento da execução da estrutura.

Figura 14 – Planejamento do estudo de caso 1



(fonte: elaborado pelo autor)

Durante o planejamento da execução da estrutura, não foi dada significativa atenção à constituição e forma de organização das equipes, sendo delegada esta atividade ao mestre de obras. Somente o dimensionamento das equipes teve a atenção devida, que foram pré-determinadas com 6 carpinteiros e 5 ferreiros, com base em experiências prévias em outras obras.

Também não houve planejamento das operações individuais dos operários, considerando-se que estas seriam posteriormente organizadas pelos trabalhadores.

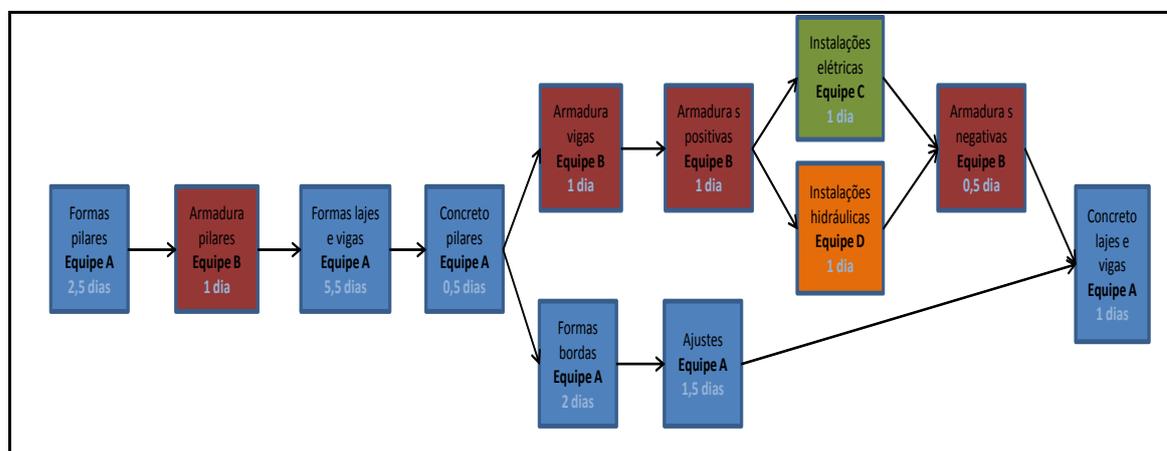
5.2.2 Acompanhamento da execução

Na fase de observação direta da produção, observou-se que o tempo de execução da estrutura era de aproximadamente 14 dias úteis, 4 dias úteis acima do tempo planejado. Levando em conta que todos os 7 pavimentos repetidos tivessem durado 4 dias úteis adicionais, ter-se-ia um atraso de 28 dias úteis na etapa da estrutura, levando a um provável atraso na finalização do empreendimento.

O processo executivo da estrutura foi acompanhado plenamente durante um tempo de ciclo da estrutura e a duração de cada etapa executiva foi levantada. Levando em conta as distintas especialidades de trabalhadores necessárias, a execução da estrutura necessitou de quatro equipes, cada uma com uma especialidade distinta. As equipes foram divididas em: carpinteiros (equipe A), ferreiros (equipe B), instaladores elétricos (equipe C) e instaladores

hidráulicos (equipe D). A sequência e as durações das atividades observadas estão representadas de forma simplificada em uma rede de processo na figura 15.

Figura 15 – Rede de processo do estudo de caso 1



(fonte: elaborado pelo autor)

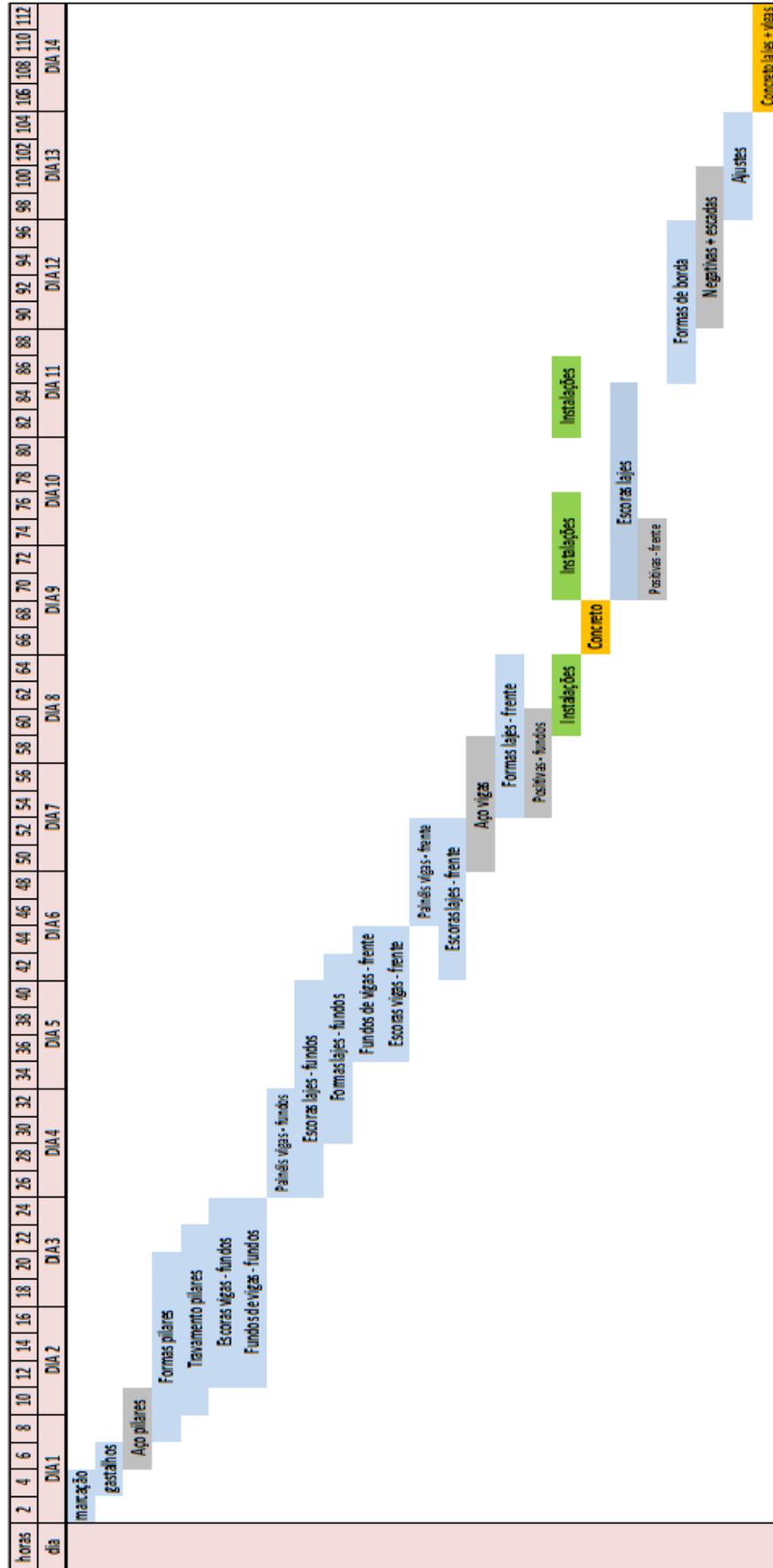
Através de observação direta no canteiro de obras e análise dos documentos disponíveis foi possível um entendimento mais detalhado do processo, a ponto de poder representá-lo através da sequência de produção apresentada na figura 16. Este sequenciamento aborda individualmente cada etapa do processo executivo da estrutura convencional de concreto armado.

Uma análise das operações mostrou que a equipe de 6 carpinteiros se dividia em times ainda menores, usualmente na forma de duplas, permitindo a alocação das tarefas em lotes menores, como pode-se perceber nas superposições entre atividades dos carpinteiros no diagrama de atividades previamente apresentado.

Ainda, após diversas entrevistas com os envolvidos e confirmação por observação direta, percebeu-se que os atrasos no processo eram, em sua grande maioria, consequência de elevada duração das atividades exercidas pelos carpinteiros. A duração das atividades exercidas pelas equipes de ferreiros, instaladores elétricos e hidráulicos tinha muito pouca influência na duração do processo.

Vista a elevada relevância das atividades exercidas pelos carpinteiros para este estudo de caso, optou-se por dar maior ênfase no acompanhamento e busca por melhorias em seu trabalho.

Figura 16 – Sequência de produção inicial do estudo de caso 1



(fonte: elaborado pelo autor)

Para o começo do serviço dos carpinteiros era necessária a marcação dos eixos de referência e fixação dos ganchos (figura 17). Os carpinteiros mostraram-se suficientemente organizados nestas etapas, não havendo perdas suficientemente significativas por transporte desnecessário ou ociosidades.

Figura 17 – Fixação de gancho



(fonte: foto do autor)

Então, após iniciado o posicionamento das armaduras dos pilares por parte dos ferreiros, eram fixadas as formas de pilares já transportadas e posicionadas ao lado dos pilares na qual seriam utilizadas. Os lotes de transporte eram adequados de forma a manter-se fluxo quase contínuo no processo.

A ordem de marcação, fixação de ganchos, colocação de armaduras de pilares (figura 18) e montagem de formas de pilares (figura 19) era dos fundos à frente do pavimento, com pequenas distorções geradas por eventuais desorientações dos carpinteiros, mas com efeito bastante reduzido na duração do processo. Vale ressaltar, no entanto, que a conferência das armaduras dos pilares ocorria somente no dia anterior à concretagem dos pilares. Então, caso houvesse qualquer não conformidade com os projetos de pilares, os atrasos devidos ao retrabalho eram significativos.

Figura 18 – Armaduras de pilares



(fonte: foto do autor)

Na execução das formas de vigas e lajes, notou-se que os trabalhos eram essencialmente divididos em duas partes separadas pela junta de dilatação, os fundos e a frente do pavimento.

Após iniciado o travamento dos pilares, as etapas de posicionamento das formas de fundos de vigas e escoramento das mesmas iniciavam. Em relação ao posicionamento das formas de fundos de vigas, não percebeu-se perdas significativas no processo, no entanto, o mesmo não foi verificado em relação ao escoramento.

Figura 19 – Formas de pilares



(fonte: foto do autor)

Notou-se que as atividades envolvidas no escoramento eram alvo constante de reclamações por parte dos carpinteiros. Depois de acompanhadas as etapas do escoramento, notou-se que estas atividades envolviam grande parte dos carpinteiros em tempo bastante superior ao esperado. Todas as etapas do escoramento representavam cerca de 9 dias de trabalho em cada ciclo da estrutura.

Depois de entrevistas com todos os envolvidos, percebeu-se que a equipe de carpinteiros não estava habituada a trabalhar com escoramento de madeira. Alguns dos carpinteiros não trabalhavam com este tipo de escoramento há anos, enquanto outros nunca o haviam utilizado.

A partir deste momento, ficou claro que a prioridade na busca por melhorias do processo em análise deveria ser o escoramento. Então, o escoramento foi dividido em etapas. E, mesmo que o recebimento e transporte das escoras até a serra circular e posterior corte das mesmas não fizesse parte das atividades dos carpinteiros durante toda a execução da estrutura, optou-se por considerá-las na análise, visto que o tempo gasto nestas etapas era bastante significativo na definição do prazo de execução da estrutura.

O escoramento iniciava pela chegada do lote de escoras ao pavimento térreo da obra. Após, estas escoras eram transportadas manualmente por parte dos carpinteiros até local próximo (figura 20) à serra circular (figura 21), também no pavimento térreo. A partir deste local, o carpinteiro encarregado da serra deslocava e cortava as escoras uma a uma e as depositava em local próximo para que outros carpinteiros as transportassem até o pavimento a ser escorado.

Figura 20 – Estoque de escoras



(fonte: foto do autor)

Figura 21 – Serra circular



(fonte: foto do autor)

Então, dois carpinteiros transportavam as escoras manualmente do térreo até o segundo pavimento e, posteriormente as transportavam (figura 22) até o terceiro pavimento.

Figura 22 – Transporte vertical de escoramento



(fonte: foto do autor)

A partir de estoques no pavimento, as etapas do escoramento eram as mesmas, independentemente do pavimento da estrutura que estava sendo executado. Cada estaca era

transportada do estoque até o local de fixação e, então era fixada (figura 23) com dois pregos em seu topo por um carpinteiro, enquanto outro carpinteiro a segurava. Por fim, um carpinteiro nivelava com cunhas (figura 24) e fixava a escora na base, com utilização de martelo e pregos.

Figura 23 – Fixação de topo de escora



(fonte: foto do autor)

Figura 24 – Cunhas



(fonte: foto do autor)

Começando pelo tempo gasto no transporte das escoras até a serra circular, notou-se que este era excessivo, levando em conta que as escoras chegavam à obra em lotes de 800 unidades e eram transportadas uma a uma, manualmente pelos carpinteiros. O transporte com auxílio de plataformas de quatro rodas estava inicialmente bastante dificultado em função da irregularidade do piso e, posteriormente impossibilitado pela execução de alvenarias no entorno.

Já em relação ao transporte das escoras depois de cortadas, esta etapa também levava tempo bastante considerável, já que um carpinteiro tinha capacidade de carregar somente duas escoras e dois carpinteiros eram necessários para transporte vertical de escoras.

Tanto na fixação dos topos quanto das bases das escoras, percebeu-se que os carpinteiros, ao trabalharem sozinhos, tinham rendimento normalmente superior em comparação ao momento em que trabalhavam em grupo. Isto se devia a falta de coordenação entre eles, já que não estavam habituados com a utilização de escoramento de madeira.

Em relação à etapa de fixação de painéis laterais de vigas, notou-se organização eficiente dos trabalhadores, com ordem de produção bem definida, começando pelos fundos do pavimento até a frente. No entanto, o escoramento completo das formas de fundos de vigas era necessário para o começo e, mesmo que os carpinteiros fossem suficientemente organizados, ociosidades causadas pelo atraso do escoramento das vigas foram percebidas.

A colocação das formas de lajes (figura 25) é subdividida em posicionamento de barras longarinas e transversinas, apoiadas no escoramento e nas formas de pilares, e assoalhamento, que ocorre posteriormente à colocação das longarinas e transversinas. A organização das etapas que compõe a colocação de formas seguia a ordem de produção determinada.

Em função da duração real do posicionamento do escoramento das lajes ter sido bastante superior à duração prevista desta atividade, notou-se ociosidade por parte de alguns carpinteiros que esperavam a conclusão de parte do escoramento para que iniciasse o assoalhamento.

Figura 25 – Formas de lajes



(fonte: foto do autor)

Já em relação ao transporte das armaduras de vigas e de lajes ao pavimento, observou-se significativas ociosidades dos ferreiros, principalmente no transporte vertical com mini grua (figura 26). No entanto, depois de ter conversado com a equipe de ferreiros, notou-se que eles tinham consciência de que atrasos no transporte das armaduras não gerariam atrasos no prazo de execução da estrutura, já que os carpinteiros estavam bastante atrasados em relação ao previsto.

Figura 26 – Mini grua



(fonte: foto do autor)

As instalações elétricas (figura 27) e hidráulicas ocorriam antes e logo depois do lançamento do concreto nos pilares, e ambas as equipes, de eletricitistas e instaladores hidráulicos, eram suficientemente organizadas e começavam pelos fundos do pavimento e terminavam na frente.

Figura 27 – Instalações elétricas



(fonte: foto do autor)

O lançamento do concreto dos pilares (figura 28) era realizado com auxílio de toda a equipe de carpinteiros e, portanto, as atividades envolvidas na execução das formas eram cessadas durante o período da concretagem. Os pilares eram concretados começando pelos fundos do pavimento até a frente, como previsto.

Os atrasos decorrentes da etapa de concretagem de pilares eram causados, no geral, por problemas externos à obra, não tendo sido possível buscar melhorias nesta etapa. As formas de borda do pavimento eram executadas na ordem definida, começando pelos fundos até a frente, sem perdas significativas. Então, as armaduras negativas já montadas no pavimento térreo eram colocadas pela equipe de ferreiro, assim como a armadura da escada, sem perdas relevantes ao processo.

Figura 28 – Concretagem de pilares



(fonte: foto do autor)

Finalizadas as formas de bordas, toda a equipe de carpinteiros realizou os ajustes nas formas não conformes e conferência de dimensões das formas. A conferência das armaduras de vigas, lajes e escada era realizada durante este período, acarretando eventuais atrasos no lançamento do concreto, já que, caso houvesse não conformidades das armaduras em relação aos projetos estruturais, a equipe de ferreiros só poderia atuar no dia do lançamento do concreto para repará-las.

Por fim, as lajes e vigas eram concretadas (figura 29) com ordem pré-definida, começando pelos fundos até a frente e sem perdas causadas por fatores internos à obra.

Figura 29 – Concretagem de lajes e vigas



(fonte: foto do autor)

5.2.3 Planos de melhorias

Durante o acompanhamento do processo neste primeiro estudo de caso, soluções visando eliminar perdas foram desenvolvidas com base em princípios, conceitos e ferramentas de planejamento da produção do STP.

A primeira e mais evidente melhoria no processo com grande potencial de redução no tempo de ciclo seria a troca da tecnologia construtiva em uso. O escoramento de madeira poderia ser substituído por escoramento metálico, com elevada redução no tempo de ciclo do processo como consequência.

Esta solução foi discutida com a construtora e, na verdade, o escoramento metálico estava começando a ser utilizado em outras da mesma. No entanto, esta tecnologia construtiva, apesar de acelerar o processo executivo da estrutura, tem custo superior ao escoramento de madeira.

Uma obra bastante semelhante da mesma construtora estava sendo executada com escoramento metálico e o tempo de ciclo dos pavimentos tipo da estrutura era em torno de 9

dias úteis, 5 dias úteis de diferença em relação à obra estudada. Levando em conta 10 pavimentos de escoramento, ter-se-ia 50 dias úteis de redução no tempo de execução. Esta redução no tempo poderia ser utilizada como forma de pressionar a empreiteira a reduzir seu preço, vista a redução na necessidade de mão de obra.

Além disso, foi discutida uma solução para redução nos custos envolvidos no escoramento metálico. Seria possível adquirir as escoras metálicas e dividir o montante pago entre outras construtoras de médio porte interessadas. Desta forma, não somente se pagaria menos pela aquisição do escoramento, como poder-se-ia reduzir os custos de estoque do escoramento ao repassar as escoras diretamente a obras de outras construtoras. O resultado seria o fluxo contínuo aplicado a uma rede de diversas construtoras e suas respectivas obras.

Mas, dado que a mudança de tecnologia construtiva só poderia ser implementada em obras futuras, optou-se por buscar outras soluções para os atrasos no escoramento.

Uma segunda melhoria no processo possível seria a divisão do pavimento em duas partes, separadas pela junta de dilatação, sendo estas partes concretadas em dias diferentes, caracterizando um sistema mais puxado.

No entanto, depois de reunião com a controladoria da empresa, concluiu-se que esta melhoria não resultaria em boa relação custo-benefício à empresa. Os motivos para esta conclusão incluíram a necessidade de duas concretagens de pilares e duas concretagens de lajes e vigas por pavimento e os custos adicionais tanto do aluguel de bomba quanto de desperdício adicional de concreto, que seriam elevados.

levando em conta que duas concretagens de pilares e duas concretagens de lajes e vigas seriam necessárias por pavimento e os custos adicionais tanto de aluguel de bomba quanto de desperdício adicional de concreto seriam elevados, viu-se que esta solução não tinha boa relação custo-benefício à empresa.

Então, visando obter outra solução para redução no tempo de ciclo, optou-se por realizar um diagrama de processo para o escoramento, que pode ser visto no quadro 1.

Neste diagrama, estão descritas todas as atividades do processo de escoramento, desde a chegada do lote de 800 escoras até a fixação das cunhas na base das escoras. Analisando este diagrama, notou-se a importância da redução de atividades de transporte, começando pelo

transporte do lote de escoras até o estoque próximo à serra circular. A primeira medida foi a de transferência da serra a um ponto mais próximo à entrada da obra, reduzindo em 10 metros a distância entre serra circular e local de descarga dos lotes de escoramento.

Quadro 1 – Diagrama de processo de escoramento

No	Atividade	Fluxo	Equipamento	Distância [m]	Tempo [seg]	Pessoas	Repetições
1	Inspeção de quantidade	Inspeção	-	0	1600	1	1
2	Estoque de 800 escoras	Estoque	-	0	20000	-	1
3	Transporte hor. de 1 escora	Transporte	-	50	25	2	800
4	Estoque de 800 escoras	Estoque	-	0	44000	-	1
5	Transporte hor. de 1 escora	Transporte	-	5	5	1	800
6	Corte de 1 escora	Processamento	Serra circular	0	45	1	800
7	Transporte hor. de 1 escora	Transporte	-	5	5	1	800
8	Estoque de 20 escoras	Estoque	-	0	200	-	40
9	Transporte 2P de 1 escora	Transporte	-	5	10	2	800
10	Estoque de 20 escoras	Estoque	-	0	340	-	40
11	Transporte hor. de 1 escora	Transporte	-	34	17	2	800
12	Estoque de 20 escoras	Estoque	-	0	340	-	40
13	Transporte 3P de 1 escora	Transporte	-	5	10	2	800
14	Estoque de 20 escoras	Estoque	-	0	2700	-	40
15	Transporte hor. de 1 escora	Transporte	-	7	16	2	800
16	Pregamento de 1 escora	Processamento	Martelo	0	63	2	800
17	Colocação de cunhas	Processamento	Martelo	0	30	2	800
18	Pregamento de cunhas	Processamento	Martelo	0	26	2	800
			Total	88800	410400		

(fonte: elaborado pelo autor)

Além disso, percebeu-se que o tempo de transporte poderia ser reduzido através de utilização de plataforma de quatro rodas ao invés de transporte manual. No entanto, para utilizá-lo, era necessário concretar o contrapiso do pavimento térreo, para tornar o piso regular.

Com esta mudança na posição da serra e utilização da plataforma de quatro rodas, que permitiria o transporte de cerca de vinte escoras em um lote, ao invés de apenas uma, ter-se-ia uma redução de 10 homens-hora por lote de escora transportada. Sabendo que são necessários 3 lotes na execução da estrutura, a redução seria de 30 homens-hora para toda estrutura.

Já em relação ao transporte vertical das escoras, este poderia ser realizado com a mini grua da obra, com significativa redução no tempo de execução da estrutura. A estimativa da redução, levando em conta que seria possível levar dez escoras em uma mini grua no tempo em que se

leva uma escora manualmente seria de quase 37 segundos por escora. Considerando 3 lotes de 800 escoras e 2 carpinteiros, a economia seria de 48 homens-hora para toda estrutura.

As duas melhorias analisadas até então no escoramento representam uma redução total de 78 homens-hora à execução da estrutura, que representam aproximadamente 11 homens-hora em um tempo de ciclo da estrutura, considerando 7 pavimentos repetidos.

Ainda, visando melhorias nas quatro últimas atividades do processo, que se repetem em todos os pavimentos da estrutura, as operações envolvidas foram acompanhadas em detalhe e um diagrama de operação foi realizado, conforme quadro 2.

Quadro 2 – Diagrama de operação conjunta de escoramento

Tempo [s]	carp. 1	t	carp. 2	t
16	espera	16	transporta escora	16
36	ajusta escora	20	espera	20
79	prega topo	43	segura escora	43
109	espera	30	coloca cunhas	30
135	prega cunhas	26	espera	26

(fonte: elaborado pelo autor)

As perdas por esperas anteriormente constatadas tornaram-se evidentes. Adicionalmente, ao conversar com os carpinteiros e propor nova organização, concluiu-se que não havia necessidade da operação de segurar a escora, bastava que o carpinteiro segurasse a escora com uma mão e pregasse com outra.

Considerando que, em cada pavimento tipo, haviam 478 escoras de lajes e 254 escoras de vigas e que podem haver quebras no processo, assumiu-se que eram necessários 800 ciclos destas operações por pavimento tipo.

Então, as operações conjuntas foram divididas em duas operações individuais cada, como representado nos quadros 3 e 4.

Levando em conta uma economia de 135 segundos de um carpinteiro por escora executada e 800 escoras por pavimento, a redução seria de aproximadamente 30 homens-hora por pavimento.

Quadro 3 – Operações de carpinteiro 1

Tempo [s]	carp. 1	t
16	transporta escora	16
36	ajusta escora	20
79	prega topo	43
109	coloca cunhas	30
135	prega cunhas	26

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 4 – Operações de carpinteiro 2

Tempo [s]	carp. 2	t
16	transporta escora	16
36	ajusta escora	20
79	prega topo	43
109	coloca cunhas	30
135	prega cunhas	26

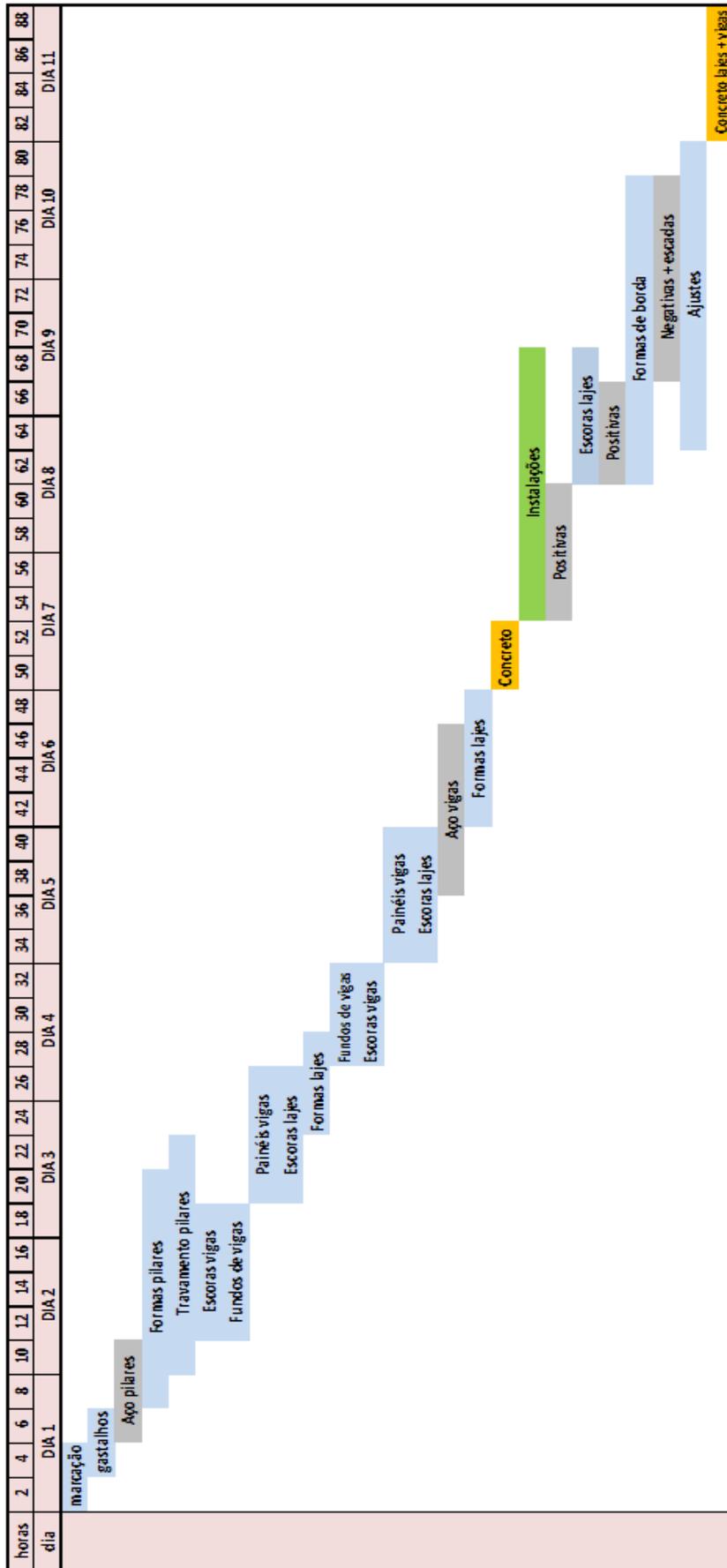
(fonte: elaborado pelo autor)

Além disso, sabendo que as atividades de escoramento de lajes e de vigas, ao terem atraso acima dos tempos esperados, causavam ociosidades de carpinteiros que executavam atividades que as sucediam, a economia de mão de obra gerada pelas melhorias no escoramento acabaria reduzindo perdas nestas atividades. As atividades de colocação de formas de fundos de vigas e de formas de fundos de lajes teriam reduções bastante significativas em suas ociosidades e, como consequência do tempo de ciclo da estrutura.

Ao realizar-se o escoramento final das lajes e execução das formas de borda e ajustes simultaneamente, cada atividade utilizando uma dupla de carpinteiros, os carpinteiros se organizaram melhor com redução de perdas por movimentação excessivas e ociosidades.

Por fim, o resultado previsto para as melhorias propostas com exceção da utilização de escoramento metálico e da divisão das concretagens dos pavimentos em partes está apresentado na figura 34, com redução de 3 dias úteis.

Figura 30 – Sequência de produção final do estudo de caso 1



(fonte: elaborado pelo autor)

5.3 ESTUDO DE CASO 2

O segundo estudo de caso foi realizado em uma obra localizada em Porto Alegre, com 10 pavimentos, sem subsolo. As fotos do edifício durante a execução da estrutura e pronto podem ser vistas nas figuras 31 e 32, respectivamente.

Figura 31 – Estrutura do estudo de caso 2



(fonte: elaborado pelo autor)

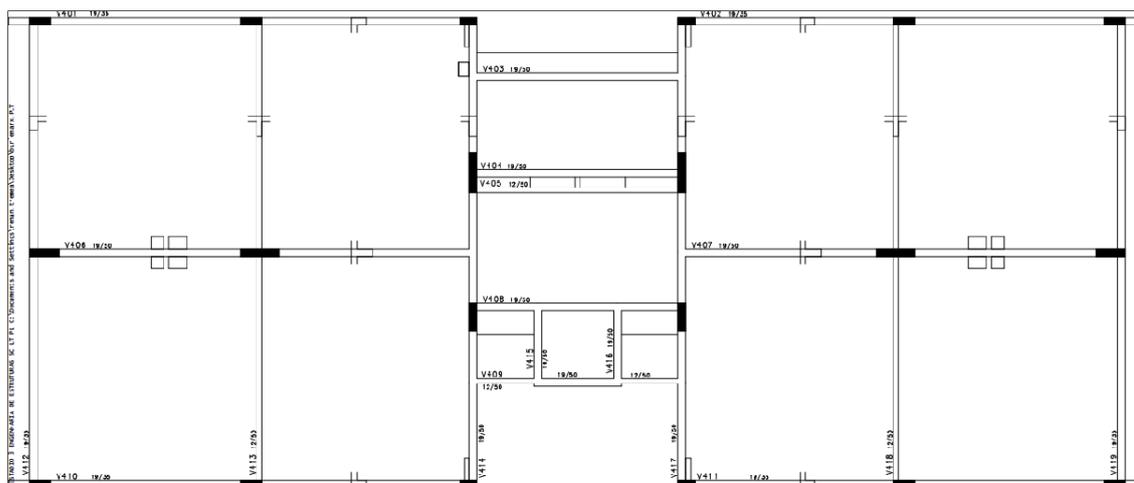
Figura 32 – Edifício do estudo de caso 2



(fonte: foto do autor)

Esta obra possui 5 pavimentos tipo, no entanto, o nono pavimento possui estrutura bastante semelhante aos pavimentos tipo, portanto, pode-se considerar que, para este trabalho, há 6 pavimentos repetidos no edifício. Cada pavimento repetido possui cerca de 280 m² de área, como pode ser visto na figura 33.

Figura 33 – Planta baixa do estudo de caso 2



(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.1 Acompanhamento do planejamento

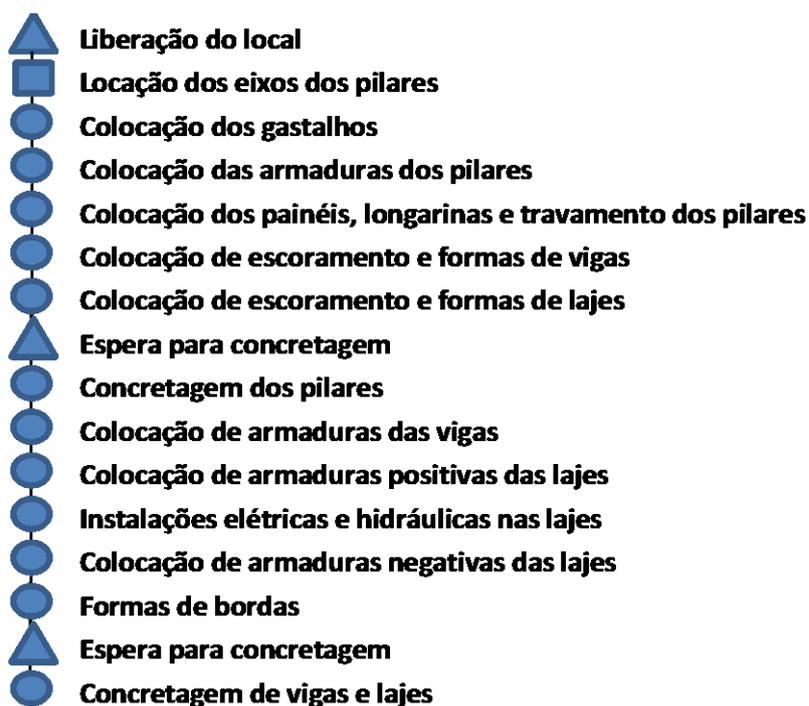
O processo de planejamento da execução da estrutura convencional de concreto armado em estudo foi determinado com base em documentos, observações e entrevistas com os responsáveis.

Os insumos, equipamentos e métodos construtivos planejados para o processo eram os mesmos do primeiro processo analisado. O processo executivo, na forma como foi concebido, pode ser revisto na figura 34.

Em função do prazo definido para a execução da estrutura, a produção dos pavimentos foi planejada de forma a atender um tempo de conclusão entre lajes sucessivas (*takt-time*) de dez dias. Não foi prevista nenhuma superposição entre a execução de diferentes pavimentos ou divisão por trechos, visto que, para atendimento do tempo de execução requerido, os responsáveis pelo planejamento da obra acreditavam que não haveria necessidade. Pode-se observar, no gráfico da figura 35, o planejamento da execução da estrutura.

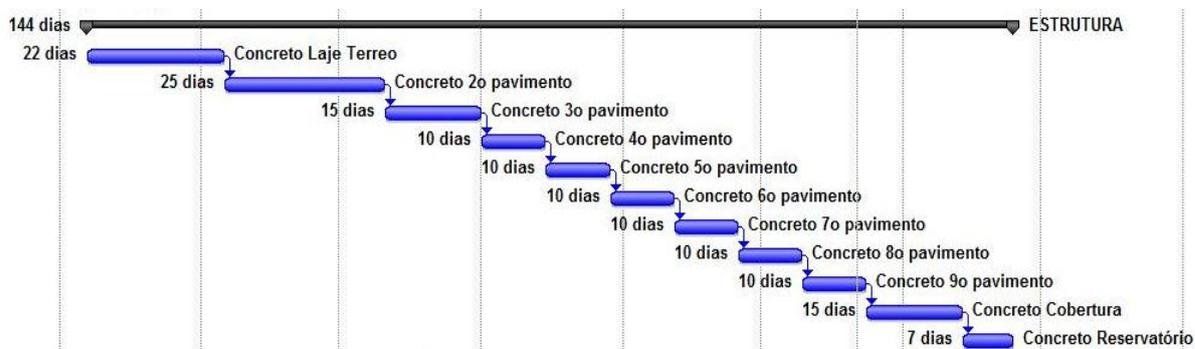
Durante o planejamento da execução da estrutura, não foi dada significativa atenção à constituição e forma de organização das equipes, sendo delegada esta atividade ao mestre de obras. Somente o dimensionamento das equipes teve a atenção devida, que foram pré-determinadas com 5 carpinteiros e 5 ferreiros, com base em experiências prévias em outras obras.

Figura 34 – Etapas do processo do estudo de caso 2



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 35 – Planejamento do estudo de caso 2



(fonte: elaborado pelo autor)

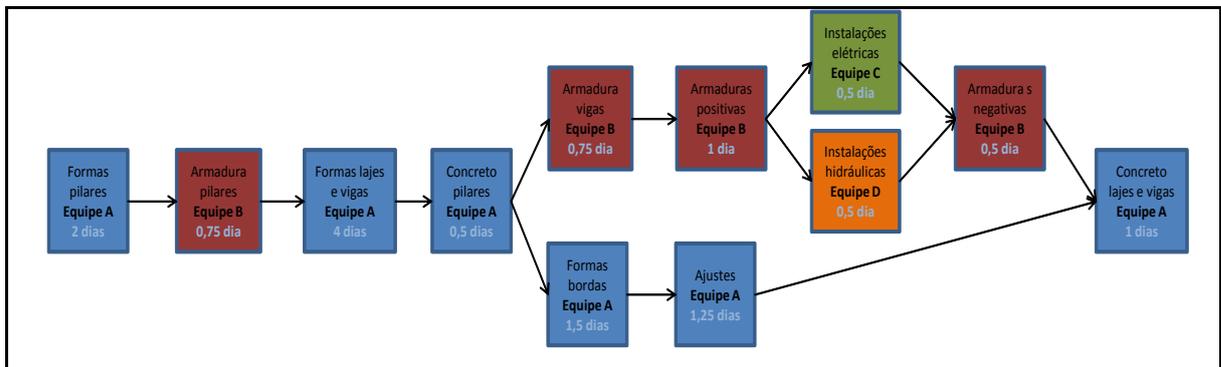
Também não houve planejamento das operações individuais dos operários, considerando-se que estas seriam posteriormente organizadas pelos trabalhadores.

5.3.2 Acompanhamento da execução

Na fase de observação direta da produção, observou-se que o tempo de execução da estrutura levava em torno de 11 dias úteis, 1 dia acima do planejado. Levando em conta que todos os 6 pavimentos repetidos tivessem durado 6 dias úteis adicionais, ter-se-ia um atraso de 6 dias úteis na etapa da estrutura, levando a um provável atraso na finalização do empreendimento.

O processo executivo da estrutura foi acompanhado plenamente durante um tempo de ciclo da estrutura e a duração de cada etapa executiva foi levantada. Levando em conta as distintas especialidades de trabalhadores necessárias, a execução da estrutura necessitou de quatro equipes, cada uma com uma especialidade distinta. As equipes foram divididas em: carpinteiros (equipe A), ferreiros (equipe B), instaladores elétricos (equipe C) e instaladores hidráulicos (equipe D). A sequência e as durações das atividades observadas de forma simplificada em uma rede de processo encontram-se representadas na figura 36.

Figura 36 – Rede de processo do estudo de caso 2



(fonte: elaborado pelo autor)

Através de observação direta no canteiro de obras e análise dos documentos disponíveis foi possível um entendimento mais detalhado do processo, a ponto de poder representá-lo através da sequência de produção apresentada na figura 37. Este sequenciamento aborda individualmente cada etapa do processo executivo da estrutura convencional de concreto armado.

Analisando-se as operações envolvidas, constatou-se que a equipe de 5 carpinteiros se dividia em times ainda menores, assim como no primeiro estudo de caso realizado.

Além disso, após observações diretas e entrevistas, foi notada a predominância de atrasos por parte da equipe de carpinteiros, mas em menor grau em relação ao primeiro estudo de caso. Optou-se por monitorar em maior detalhe as atividades dos carpinteiros, em relação às atividades das outras equipes.

Nas atividades iniciais de marcação dos eixos de referência e fixação dos ganchos não foram notadas ociosidades ou transportes desnecessários significativos.

Assim como no primeiro estudo de caso, as perdas na montagem e posicionamento das armaduras, tanto para o caso dos pilares quanto das vigas e lajes não geravam atrasos no prazo da estrutura. Mas, diferentemente do primeiro do estudo de caso, a engenharia realizava a conferência das armaduras com bastante antecedência em relação ao momento de lançamento de concreto, sem atrasos gerados por não conformidades das armaduras em relação aos projetos estruturais.

Nas atividades envolvidas na montagem das formas da estrutura, percebeu-se desorganização de equipamentos (figura 38) no pavimento em execução e nos pavimentos anteriores, inclusive depósito de materiais (figura 39) em muitos locais arbitrários, dificultando o transporte de materiais e movimentação dos trabalhadores.

Já nas atividades de escoramento, principalmente das lajes, notou-se desorganização dos trabalhadores, sem ordem pré-definida de execução, gerando perdas por movimentações excessivas. Os carpinteiros desta obra, apesar de mais habituados com o escoramento de madeira em relação aos carpinteiros do primeiro estudo de caso, não seguiam organização bem definida na execução de muitas tarefas envolvidas no escoramento.

A colocação das formas de borda (figura 40) do pavimento seguiu basicamente a ordem pré-definida, no entanto, houve momentos de desorganização dos carpinteiros em função desta etapa ter ocorrido em conjunto com os ajustes finais das formas, mas sem pré-dimensionamento do número de carpinteiros que deveria trabalhar em cada etapa. Era usual que os carpinteiros interrompessem as atividades de formas de bordas quando eram requisitados por outros carpinteiros para a realização de ajustes.

Depois de concretados os pilares, os carpinteiros retornavam à execução das formas de borda e ajustes finais, cometendo os mesmos erros já citados.

Figura 38 – Desorganização de materiais e equipamentos



(fonte: foto do autor)

Figura 39 – Material depositado



(fonte: foto do autor)

Os instaladores elétricos e hidráulicos realizavam suas atividades em ordem pré-definida, começando pelos fundos até a frente, sem perdas significativas no processo.

Figura 40 – Formas de borda



(fonte: foto do autor)

Por fim, a concretagem das lajes, vigas e escada (figura 41) não apresentava atrasos cuja responsabilidade poderia ser atribuída aos trabalhos na obra em si, mas, somente à concreteira.

Figura 41 – Concretagem de lajes e vigas



(fonte: foto do autor)

5.3.3 Planos de melhorias

Assim como no primeiro estudo de caso, soluções visando eliminar perdas foram desenvolvidas com base em princípios, conceitos e ferramentas de planejamento da produção do STP.

A primeira melhoria observada com elevado potencial de redução no tempo de ciclo seria, da mesma forma como no primeiro estudo de caso, a utilização de escoramento metálico. Embora as perdas nas atividades envolvidas no escoramento fossem significativamente menores em relação ao primeiro estudo de caso, estimou-se redução de pelo menos 2 dias úteis do tempo de ciclo da estrutura.

A segunda oportunidade de melhoria identificada foi a de simplesmente reorganizar os materiais jogados no pavimento em execução, de forma a reduzir perdas por movimentações desnecessárias. A redução no tempo de ciclo da estrutura devida a esta melhoria é de difícil estimativa, já que a desorganização de materiais normalmente não segue qualquer padrão previsível.

A terceira melhoria envolveu a definição da ordem de execução do escoramento. Foi proposta ordem começando pelos fundos até a frente do pavimento, mas sem especificação exata de quando cada elemento deveria ser escorado, já que houve certa resistência ao controle rígido das atividades, característica típica de equipes semi-autônomas.

A redução de tempo gasto em transporte foi calculada com base em tempos médios de várias operações de escoramento realizadas. Nos quadros 5 e 6, estão os gráficos de operação antes e depois da melhoria, respectivamente.

Há redução de 17 segundos por escora, levando em conta que são 380 escoras de lajes e 178 escoras de vigas por pavimento e há quebras no processo, pode-se concluir que há economia de 3 homens-hora por pavimento.

Por fim, a quarta melhoria envolveu a divisão, na fase final, dos 5 carpinteiros em uma dupla para as formas de borda, uma dupla para os ajustes finais e um carpinteiro no escoramento de lajes. Não havia intercâmbio de atividades entre essas 3 sub-equipes, evitando movimentações desnecessárias.

Quadro 5 – Operações prévias de carpinteiro

Tempo [s]	carpinteiro	t
32	transporta escora	32
53	ajusta escora	21
96	prega topo	43
125	coloca cunhas	29
152	prega cunhas	27

(fonte: elaborado pelo autor)

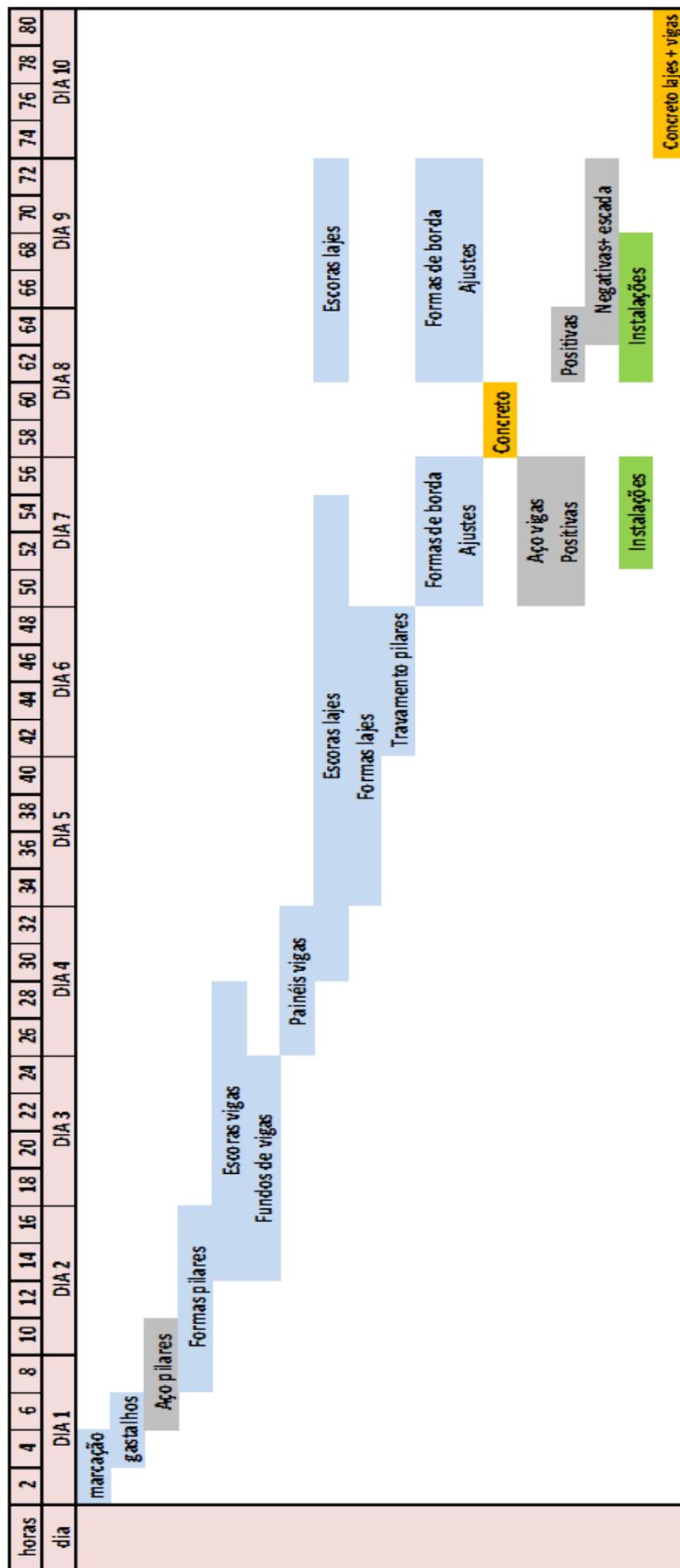
Quadro 6 – Operações aprimoradas de carpinteiro

Tempo [s]	carpinteiro	t
15	transporta escora	15
36	ajusta escora	21
79	prega topo	43
108	coloca cunhas	29
135	prega cunhas	27

(fonte: elaborado pelo autor)

Então, o resultado previsto para as melhorias propostas com exceção da utilização de escoramento metálico está apresentado na figura 42, com redução de 1 dia útil no tempo de ciclo da estrutura.

Figura 42– Sequência de produção final do estudo de caso 2



(fonte: elaborado pelo autor)

6 AVALIAÇÃO DO MÉTODO

Este capítulo trata da avaliação do método para planejamento da execução de estruturas racionalizadas de concreto no planejamento da execução de estruturas convencionais de concreto. Com base na literatura técnica acerca destas estruturas, os princípios, conceitos e ferramentas do STP, dos resultados das aplicações dos conceitos do STP por Zuchetti (2013) e do TP por Fazinga (2012) em estruturas racionalizadas de concreto e nos dois estudos de casos realizados pelo autor, a avaliação foi realizada.

O método analisado tem como princípio a eliminação de perdas preconizada pelo STP e, principalmente, do conceito de MFP, que estabelece uma hierarquia na busca por melhorias no processo e nas operações.

De acordo com Zuchetti (2013, p. 130), a primeira etapa no planejamento do processo diz respeito ao planejamento do serviço. Nesta etapa, o tempo de ciclo meta, a unidade de controle e a sequência de trabalho devem ser definidos.

Na avaliação realizada, percebeu-se a necessidade da inclusão da influência dos projetos no processo executivo, já que, para o caso de estruturas convencionais, os elementos dos projetos normalmente não são padronizados.

Propõe-se, para a etapa de serviço, adaptações relativas à fase de concepção do produto, em outras palavras, o método deve abranger a fase de projetos, visando melhorias no processo produtivo através da **Engenharia de Valor**, ou seja, através de alterações de características do produto em si. Para tal, os responsáveis pela estratégia de produção do empreendimento a ser executado devem reunir-se com os responsáveis pelos projetos arquitetônico, estrutural, de formas e complementares para transmitir a importância da **padronização** de elementos dos projetos para a redução de variabilidades no processo e aceleração do aprendizado dos trabalhadores no processo executivo, gerando resultados em termos de produtividade e redução do tempo de ciclo do processo.

A padronização deve iniciar pelo projeto arquitetônico através da padronização de vãos, de espessuras das divisórias internas e paredes e da busca por simetrias. A padronização destes

elementos permite a padronização das dimensões dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes), que possibilita a padronização das formas da estrutura e que permite, por fim, a padronização dos elementos dos projetos complementares. Ainda, independentemente do projeto arquitetônico, o projetista estrutural pode padronizar as armaduras de pilares, vigas e lajes, com ganhos em produtividade que usualmente superam os custos adicionais em aço. Por fim, a compatibilização adequada dos projetos previamente à execução é fundamental para a redução de perdas por retrabalhos durante o processo.

Padronizados estes elementos dos projetos, deve-se definir a **unidade de controle** – pavimento ou trecho – levando em conta a existência de junta de dilatação no pavimento.

Com base na unidade de controle definida e em seu *takt time* – que provém da demanda externa – deve ser definido o **tempo de ciclo meta** do processo que, para minimizar perdas, deve atender ao *takt time*.

No entanto, de acordo com Zuchetti (2013, p. 131), pode ser interessante que o tempo de ciclo do processo seja inferior ao *takt time*, de forma a absorver as variabilidades internas ao processo.

Determinado o tempo de ciclo meta para o processo, melhorias em **tecnologias construtivas** devem ser buscadas. Estas melhorias devem visar maior nível de industrialização, levando em conta a familiarização dos trabalhadores e as exigências logísticas. No processo em estudo, englobam principalmente melhorias nos sistemas de formas e no escoramento.

Determinado o tempo de ciclo meta para o processo, a representação da **sequência de produção inicial** estimada do processo deve ser realizada em um gráfico que exponha as atividades, os momentos de início e término das mesmas e a equipe envolvida (carpinteiros, ferreiros, instaladores elétricos e instaladores hidráulicos) em cada atividade, utilizando a técnica da Linha de Balanço. Esta sequência de produção deve ser definida e seu tempo de ciclo estimado em uma reunião com os responsáveis pelo planejamento e pela execução do processo, levando em conta a base de dados referente a obras anteriores da construtora, a experiência dos responsáveis pela produção e os resultados estimados da padronização dos elementos dos projetos.

A sequência de produção pré-definida deve, então, ser aprimorada até que o *takt time* seja atendido. Inicialmente, é necessário buscar melhorias no processo baseadas na **Engenharia**

de Produção, que englobam melhorias no **leiaute** dos equipamentos e na **armazenagem**. O auxílio de ferramentas de planejamento da produção como Gráficos de Fluxo do Processo e Mapeamento de Fluxo de Valor é bastante eficaz na obtenção de melhorias nestas etapas.

Melhorias no leiaute dos equipamentos visam a minimização de movimentações e, no processo em questão, normalmente envolvem o posicionamento da serra circular e dos equipamentos de transporte vertical (gruas e elevador de obra).

Já melhorias na armazenagem visam o dimensionamento dos lotes de transferência, com o objetivo de minimizar estoques e ociosidades. No processo em questão, normalmente incluem o redimensionamento dos lotes de transferência de peças de formas, escoras e armaduras, que potencialmente podem tornar-se obstáculos à movimentação dos trabalhadores.

Primeiro, é importante definir o leiaute dos equipamentos anteriormente aos lotes de transferência, já que a posição dos equipamentos pode impor restrições aos tamanhos destes lotes. Por exemplo, a definição da posição da serra circular em um pavimento que não o térreo passa a exigir movimentações verticais adicionais, podendo limitar o tamanho dos lotes de transporte até o local da mesma.

Em relação à etapa de planejamento das equipes, Zuchetti (2013, p. 133) afirma que o conteúdo do processo deve ser mais detalhado, levando em conta a organização das equipes e suas competências.

Já em relação à etapa de planejamento das operações individuais, Zuchetti (2013, p. 135) afirma que são necessárias informações que dizem respeito aos tempos e metas para as atividades exercidas individualmente por estes operários.

Na avaliação realizada, percebeu-se a importância das melhorias nos níveis de equipe e de operário. Adicionalmente, propõe-se a inclusão de dois outros tipos de melhorias nas operações, visando à eliminação de perdas no processo. Os tipos de melhorias em operações devem ser divididos em **preparação** para operações, em **ferramentas** das operações, em **organização das equipes** e em **operações individuais**. O auxílio de Estudo de Tempos e Movimentos, através de filmagens, fotografias e observações é fundamental nesta etapas.

Para a obtenção de melhorias na preparação das operações, deve-se antecipar determinadas operações e realizar organização prévia de materiais em locais que não atrapalhem a movimentação dos trabalhadores.

Em relação às melhorias nas ferramentas das operações, é possível adotar ferramentas para redução dos tempos de operações de transporte ou de processamento. No processo em questão, pode-se adotar mini-gruas ou plataformas de quatro rodas como ferramentas para operações de transporte e adoção de serra circular ou vibrador de concreto mais eficazes como ferramentas para operações. Gráficos de Operador-Máquina são ferramentas eficazes para a obtenção de melhorias nesta etapa.

Já as melhorias na organização das equipes visam reduzir perdas causadas por ineficiências na organização das equipes através da divisão das equipes em subgrupos, buscando fluxo contínuo no processo. Deve-se, no entanto, levar em conta as especialidades dos trabalhadores e manter a autonomia dos mesmos, já que as equipes normalmente se organizam em arranjos semi-autônomos. Gráficos de Operação Conjunta são ferramentas eficazes para a obtenção de melhorias nesta etapa.

As melhorias nas operações individuais podem ser obtidas através de rotinas de operações diárias que incluam o tempo das tarefas e as metas para estes tempos. No entanto, é fundamental preservar a autonomia dos operários e permitir adequações das rotinas realizadas caso os operários não se adaptem adequadamente. Gráficos de Operações Individuais são ferramentas eficazes para a obtenção de melhorias nesta etapa.

Assim como no caso das melhorias no processo, propõe-se uma ordem para as fontes de melhorias em operações citadas. Primeiramente, busca-se melhorias na preparação das operações, já que estas melhorias são muitas vezes responsáveis por permitir melhorias nas ferramentas, como quando se opta por realizar a operação de concretagem do contrapiso com antecedência para eliminar irregularidades e permitir a utilização de equipamentos de transporte com rodas. Posteriormente, busca-se melhorias nas ferramentas das operações, já que estas melhorias podem reduzir a necessidade de mão de obra, afetando o dimensionamento das equipes. Então, passa-se às melhorias na organização das equipes e, por fim, das operações individuais.

Realizadas as melhorias tanto a nível de processo quanto a nível de operações, deve-se representar seus efeitos estimados em um diagrama de **sequência de produção final**, levando em conta variabilidades inerentes ao processo e adaptações durante a fase de execução do processo. Caso o tempo de ciclo desta nova sequência de produção atenda às metas estabelecidas em termos de tempo de ciclo, pode-se passar à **execução** do processo. No entanto, caso as metas não tenham sido atendidas, deve-se retornar à etapa de melhorias partindo da Engenharia de Produção, seguindo a hierarquia proposta até que a meta tenha sido atendida e, então, passa-se a execução do processo.

Vale ressaltar, ainda, que as propostas de adaptações do método avaliado foram embasadas nos conceitos de melhoria contínua e estados atual e futuro do Mapeamento de Fluxo de Valor e das etapas de Análise de Processo de Produto de Ishiwata.

O método adaptado ao processo estudado está descrito na figura 43.

Figura 43 – Método para planejamento da execução de estruturas convencionais de concreto armado



(fonte: elaborado pelo autor)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como principal objetivo a avaliação de um método no planejamento da execução de estruturas convencionais de concreto armado. A avaliação do método, descrita no capítulo anterior, tem embasamento na literatura técnica acerca do processo, os princípios, conceitos e ferramentas do STP, dos resultados de aplicações prévias destes conceitos em processos semelhantes e nos dois estudos de casos realizados pelo autor.

O objetivo do método avaliado é a redução do tempo de ciclo do processo, visando o atendimento do planejamento de longo prazo do empreendimento. Visto isso, destaca-se as principais contribuições deste trabalho:

- a) após validação dos princípios, conceitos e ferramentas do STP no processo em questão e levando em conta as contribuições de Fazinga (2012) e Zuchetti (2013), as particularidades do processo executivo de estruturas convencionais de concreto armado foram inseridas de forma sistemática no método avaliado;
- b) a inserção do conceito proposto pelo STP da melhoria de processos através da Engenharia de Valor na fase de concepção do produto. Visando reduzir variabilidades e acelerar o aprendizado dos trabalhadores, foi proposto o redesenho do produto em si, com enfoque na padronização dos elementos;
- c) hierarquia bem definida entre os tipos de melhorias em processo e operações, levando em conta as particularidades do processo em questão;
- d) a inserção do conceito de melhoria contínua preconizado pelo STP no método avaliado através da ênfase na regressão à etapa de melhorias da Engenharia de Produção caso o tempo de ciclo meta não seja atingido;
- e) foram determinadas as etapas mais adequadas do método avaliado para a utilização do conjunto de ferramentas de planejamento da produção aplicáveis ao processo em questão;
- f) durante os estudos de casos realizados, as dificuldades mais relevantes no planejamento da execução de estruturas de concreto armado observadas foram levantadas e uma sistemática para a resolução destas dificuldades foi incorporada ao método avaliado.

Para trabalhos futuros relacionados ao planejamento da execução de estruturas convencionais de concreto armado, recomenda-se a realização de estudo visando à quantificação da redução do tempo de ciclo deste processo causada pela padronização dos elementos dos projetos. Além disso, recomenda-se a aplicação e adaptação deste método a outros processos que incluam equipes semi-autônomas.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES JUNIOR, A. V. O Mecanismo da Função Produção: a análise dos sistemas produtivos do ponto de vista de uma rede de processos e operações. **Revista da Produção**, v. 4, n. 1, p. 33-46, 1994. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0103-65131994000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 20 abr. 2014.
- BARNES, R. M. **Estudo de Movimentos e de Tempos: projeto e medida**. 1. ed. (3. reimpr.). São Paulo: Edgard Blücher, 1977 (reimpr. 1986).
- BIAZZI JR., F. O trabalho e as organizações na perspectiva sócio-técnica. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 30-37, jan/fev. 1994.
- FAZINGA, W. R. **Particularidades da construção civil para implantação do trabalho padronizado**. 2012. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade de Londrina, Londrina, 2012.
- FORMOSO, C. T. Lean construction: princípios básicos e exemplos. **Construção Mercado: custos, suprimentos, planejamento e controle de obra**, São Paulo, v. 15, p. 50-58, 15 out. 2002. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/lean-construction-principios-basicos-e-exemplos-80714-1.aspx>>. Acesso em: 18 abr. 2014.
- HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory Physics: foundations of manufacturing management**. 2nd ed. New York: Irwin/McGraw-Hill, 2000.
- ISHIWATA, J. **IE for the Shopfloor: productivity through process analysis**. Portland: Productivity Press, 1991.
- JORGENSEN, B.; EMMITT, S. Lost in transition: the transfer of lean manufacturing to construction. **Engineering, Construction and Architectural Management**, Bingley, v. 15, n. 4, p. 383-398, 2008.
- KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford, CA: Stanford University, 1992. CIFE Technical Report n. 72.
- LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- MENDES JUNIOR, R. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. 1999. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/docente/mendesjr/tese/mendesjrtese.pdf>>. Acesso em 15 maio 2014.
- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997 (reimpr. 2013).

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to see: value-stream mapping to create value and eliminate muda**. Cambridge: Lean Enterprise Institute, 1999 (reprint 2009).

SCOMAZZON, B. R.; SOIBELMAN, L.; SILA, N. **Planejamento, programação e controle de obras repetitivas: técnica da Linha de Balanço – estudo de caso**. Porto Alegre: UFRGS/CPGEC, 1985. Caderno de Engenharia n. 13.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996 (reimpr. 2005).

SOUTO, R. S. **Aplicação de princípios e conceitos do sistema Toyota de produção em uma etapa construtiva de uma empresa de construção civil**. 2000. 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

TAYLOR, F. W. **Princípios da Administração Científica**. São Paulo: Atlas, 1990 (reimp. 2008).

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 10 ed. São Paulo: Pini, 2009.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZUCHETTI, M. **Execução de estrutura de concreto com elementos pré-fabricados: proposta de método para organização dos processos visando redução no tempo de ciclo**. 2013. 141 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.