

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

RAFAEL ANTONIO AGNOLETTO

**ANÁLISE DO EFEITO APRENDIZAGEM NA EXECUÇÃO DA
ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO DE PAVIMENTOS-TIPO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA
2010

RAFAEL ANTONIO AGNOLETTO

**ANÁLISE DO EFEITO APRENDIZAGEM NA EXECUÇÃO DA
ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO DE PAVIMENTOS-TIPO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Civil”, - Área de concentração: Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai

CURITIBA

2010

Aos meus pais, Tarcísio e Laucinei, e meus irmãos, Eduardo e Guilherme, pelo apoio e incentivo à realização deste mestrado.

Ao meu orientador, prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai, também pelo apoio e incentivo à realização deste mestrado, com quem aprendi muito profissional e também pessoalmente.

Ao prof. Dr. Cezar Augusto Romano, com quem também aprendi muito e por quem tenho considerável admiração profissional como docente.

Ao Natalino, pelo apoio, incentivo, confiança e amizade, com quem sempre pude contar em todos os momentos, e em especial agradecimento pela ajuda.

Aos meus colegas de mestrado que passaram esta etapa da vida acadêmica comigo, me ajudaram e que fiz amizade.

AGRADECIMENTOS

Uma dissertação de mestrado envolve um grande volume de interações entre o pesquisador e o seu “ambiente operacional”, tornando-se difícil agradecer sem que se cometa injustiças pela omissão ou por ênfase insuficiente.

Alguém escreveu que a vitória principal é a construção para o dia-a-dia. É lembrando a emoção de cada um desses dias que registro aqui estes agradecimentos, principalmente a todas aquelas pessoas que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa:

- A Deus, alfa e ômega, arquiteto de tudo, pela vida, proteção, ajuda, saúde, por estar sempre perto e pelo qual sem ele certamente eu não existiria, agradeço pela ajuda e, aqui, em especial agradecimento, por ter me viabilizado este mestrado pelo qual eu tanto almejava, agradeço por estar sempre presente;

- Ao professor e meu orientador Doutor Rodrigo Eduardo Catai, pelo qual me ajudou em todo o processo e viabilização deste mestrado, me ajudando e me incentivando, inclusive nesta pesquisa e reconhecendo minhas limitações, ao qual deixo aqui meu especial agradecimento por tudo e também pelo relacionamento com esta pessoa maravilhosa, pelo qual aprendi muito profissional e pessoalmente;

- Ao professor Doutor Cezar Augusto Romano, registro aqui meu agradecimento pela ajuda e incentivo nesta pesquisa, pelo qual sempre contei para tomada de decisões em relação a esta pesquisa e por quem admiro como docente;

- Ao professor Doutor Adalberto Matoski, por ter ministrado as disciplinas de Metodologia Científica e Estatística aplicada à Engenharia;

- Ao professor Doutor José Alberto Cerri, por ter ministrado a disciplina de Ciência e Engenharia dos Materiais;

- Ao professor Doutor Arildo Dirceu Cordeiro, por ter ministrado a disciplina de Sistemas de Apoio a Decisão;

- A Construtora que me concedeu o direito à visitas para esta dissertação, por ter me disponibilizado uma obra de um edifício para acompanhamento e desenvolvimento desta pesquisa;

- A José Ricardo Corrêa, Engenheiro Civil da Construtora que fiz a pesquisa, por me ter viabilizado um Edifício desta construtora para coleta de dados;

- A Nilton Eleandro da Silva, também Engenheiro Civil desta construtora, profissional residente no Edifício pelo qual realizou-se a coleta de dados, agradeço de especial atenção pela ajuda e parceria estabelecida, inclusive pelo apoio;

- A Natália Araújo Gnoato, estagiária de Engenharia Civil na obra referida, pela ajuda na coleta de dados;

- Aos meus pais, Tarcício e Laucinei, pela ajuda e apoio para realização deste mestrado;

- Aos meus irmãos, Eduardo e Guilherme, também pela ajuda e apoio para a realização deste mestrado;

- A UTFPR, Instituição na qual realizei esta Pós-Graduação e que completou o centenário de existência durante o primeiro ano da realização do mestrado;

- A todo o departamento do mestrado de Engenharia Civil da UTFPR, professores e colegas e amigos que realizaram as disciplinas comigo;

A todos eles agradeço o apoio e incentivo que me deram durante muito tempo que passei sentado na frente do computador escrevendo esta dissertação, e a qual, espero, possa ser útil aos que, na engenharia civil, lidam com projetos, obras e planejamento em empresas. Espero também que o assunto agregue muito ao trabalho daqueles que já atuam nesta área.

Você não sabe
O quanto eu caminhei...
Prá chegar até aqui
Percorri milhas e milhas
Antes de dormir
Eu nem cochilei
Os mais belos montes
Escalei
Nas noites escuras
De frio chorei, ei , ei
Ei! Ei! Ei! Ei! Ei!...
A vida ensina
E o tempo traz o tom
Prá nascer uma canção
Com a fé do dia-a-dia
Encontro a solução
Encontro a solução...
Quando bate a saudade
Eu vou pro mar
Fecho os meus olhos
E sinto você chegar
Você, chegar...
Psicon! Psicon! Psicon!
Quero acordar de manhã
Do teu lado
E aturar qualquer babado
Vou ficar apaixonado
No teu seio aconchegado
Ver você dormindo
E sorrindo
É tudo que eu quero prá mim
Tudo que eu quero prá mim...
Quero!
Quero acordar de manhã
Do teu lado
E aturar qualquer babado
Vou ficar apaixonado
No teu seio aconchegado
Ver você dormindo
É tão lindo
É tudo que eu quero prá mim
Tudo que eu quero prá mim...
Você não sabe
O quanto eu caminhei
Prá chegar até aqui
Percorri milhas e milhas
Antes de dormir
Eu nem cochilei...

Os mais belos montes
Escalei
Nas noites escuras
De frio chorei, ei , ei
Ei! Ei! Ei! Ei! Ei!...
Together..Together..
Meu caminho só meu pai
Pode mudar
Meu caminho só meu pai
Meu caminho só meu pai...
Together..Together..

A Estrada
Cidade Negra

Composição: Toni Garrido
/ Lazão / Da Gama / Bino

Sou Ronaldo...

Muito prazer em conhecer
Eu sou Fenômeno
Ronaldo Nazário dos campos
E quero muito agradecer a Deus
Por ter me escolhido no meio de tantos
Igual a todo brasileiro, eu sou guerreiro
Às vezes caio, mas eu me levanto, mas eu me levanto
Sou Ronaldo
O desafio sempre esteve
E estará em minha vida
E eu já nem me espanto
E se o mundo é uma bola
A gente tem que entrar de sola
Pra ganhar o campo
Eu não me intimidado e parto pra cima
E só me contento ao ouvir
A galera entoando esse canto
Rooooooooo-naldo é goooool
Rooooooooo-naldo é goooool
Sou Ronaldo, nasci no Rio de Janeiro
Alô-alô, Bento Ribeiro é minha área

Eu sou Ronaldo, jogo na linha
A nove é minha, ninguém tasca eu vi primeiro
Artilheiro, eu sou Ronaldo
O meu desejo é ser criança
E não perder a esperança
De ver o jogo mudar
Eu sou Ronaldo
A minha fome é de bola
A minha sede é de gol
Balança a rede, eu sou Ronaldo
Sou de suar minha camisa
Conquistar minha divisa
Eu já provei que eu sou Ronaldo
E se você não acredita
Que eu não sou de fazer fita
É só esperar pra ver
Rooooooooo-naldo é goooool
Rooooooooo-naldo é goooool
E quando o tempo é de Copa
Os gringos ficam ligado
Mais de 170 milhões são Ronaldo
R9, todo mundo sabe, o homem-gol
Tu é Ronaldo, o Brasil é e eu também sou
Qualquer problema, meu cumpadre tiro de letra
Tô sempre pronto, já ouviu? A pátria tá de chuteira
Perrengue a gente passa, eu nunca tô de bobeira
A bola quica
Eu pego ela de primeira
Ronaldo é gol
Ronaldo é gol

Sou Ronaldo

Marcelo D2

Composição: Marcelo D2

RESUMO

Com o rápido desenvolvimento, tecnologias avançadas e inovadoras, novos processos construtivos que são executados com qualidade e produtividade na construção civil e ao nível de exigências cada vez maiores do mercado e de clientes, as empresas precisam elaborar estratégias de mercado visando tornarem-se mais competitivas. Este trabalho analisa o comportamento da produtividade em um edifício de pavimentos-tipo por curvas clássicas do efeito aprendizagem em uma cidade na região sul do Brasil, em particular na execução da estrutura de concreto armado. O método adotado foi de observações através de planilhas de homem-hora e também de observações instantâneas de produtividade através de pesquisa em campo. Como resultados obtidos, observou-se que a produtividade sofreu aumentos significativos ao longo da execução, variando conforme a complexidade dos serviços, sendo que quanto mais complicado, mais se observou o aumento de produtividade do mesmo. Conclui-se, ainda, através desta pesquisa, que houve uma co-relação entre a produtividade relacionada no efeito aprendizagem pelo número de homens-hora com a amostragem de trabalho por pavimento observada, sendo que ocorreu um aumento de produtividade ao longo do processo neste edifício de caráter repetitivo e que este deve ser levado em conta para planejamento e controle de obras com estas características.

Palavras-chave: Produtividade; Construção civil; Efeito aprendizagem; Amostragem de trabalho.

ABSTRACT

With the rapid development, advanced technologies and innovative new construction processes that are executed with quality and productivity in construction and the level of increasing demands of the market and customers, companies need to develop market strategies in order to become more competitive. This document analyzes the behavior of productivity in a building with floor-type curves for classical learning effect in a town in southern Brazil, particularly in the implementation of the reinforced concrete structure. The method used was observations through spreadsheets of man-hours of observations and also instant productivity through research in the field. The results obtained showed that productivity suffered significant increases over the lifetime, depending on complexity of services, and the more complicated the more you noticed the increased productivity of the same. It follows also that there is a correlation between productivity related to learning effect by the number of man-hours with sampling of work by surface observed, and there was an increase in productivity throughout the process in this building of the repetitive and that this should be taken into account in planning and control works with these characteristics.

Keywords: Productivity; Civil Construction; Learning effect; Sampling of work.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produtividade da construção civil comparada com outras indústrias nos EUA.....	22
Figura 2 - Histórico recente da indústria da construção civil no Brasil.....	23
Figura 3 - Tipos de curvas de aprendizagem – Escala Logarítmica.....	26
Figura 4 - Dias gastos para execução do serviço contínuo.....	29
Figura 5 - Consumo médio de Hh até a data de execução do serviço de alvenaria em um edifício de pavimento-tipo.....	30
Figura 6 - Dias gastos para execução de serviço descontínuo.....	30
Figura 7 - Consumo médio até a data de execução do serviço de reboco de teto de um edifício.....	31
Figura 8 - Curvas de produção típicas para processos repetitivos.....	47
Figura 9 - Curvas de produção para processos repetitivos não balanceados.....	48
Figura 10 - Diferentes abrangências do estudo da produtividade.....	49
Figura 11 - Processo de transformação no sistema produtivo da construção civil..	50
Figura 12 - Resultado da quantificação da distribuição dos tempos de mais de 30 canteiros no país.....	65
Figura 13 - Comparativo entre as medições de tempos realizadas por alguns autores.....	66
Figura 14 - Comparativo entre as medições do serviço de alvenaria.....	67
Figura 15 – Planta de fôrmas da estrutura dos pavimentos estudados.....	69
Figura 16 - Cronograma executado da estrutura do edifício.....	69
Figura 17 – Ajuda da grua para concretagem de pilares, que foi realizada com o sistema de caçamba para elevação de cargas.....	76
Figura 18 - Concretagem de pilares executada com o sistema de caçamba.....	76
Figura 19 – Fôrma de pilar em metálica.....	77
Figura 20 - Fôrma de pilar em metálica.....	77
Figura 21 - Sistemas de escoramento misto (em madeira e em metálica).....	78
Figura 22 - Sistemas de escoramento misto (em madeira e em metálica).....	78
Figura 23 - Máquina niveladora da laje após concretagem.....	79
Figura 24 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de fôrmas, em Hh/m ² de fôrma.....	81

Figura 25 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de fôrmas, em Hh/m ²	82
Figura 26 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de fôrmas, em Hh/m ² médio até a repetição.....	82
Figura 27 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de escoras, em Hh/m ² de laje e/ou área do pavimento.....	85
Figura 28 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de escoras, em Hh/m ² de laje e/ou área do pavimento médio até a repetição.....	86
Figura 29 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução das armaduras, em Hh/kg de aço.....	88
Figura 30 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução das armaduras, em Hh/m ²	89
Figura 31 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução das armaduras, em Hh/m ² médio até a repetição.....	89
Figura 32 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da concretagem, em Hh/m ³	92
Figura 33 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da concretagem, em Hh/m ²	93
Figura 34 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da concretagem, em Hh/m ² médio até a repetição.....	93
Figura 35 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da desfôrma, em Hh/m ² de fôrma.....	96
Figura 36 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da desfôrma, em Hh/m ²	97
Figura 37 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da desfôrma, em Hh/m ² médio até a repetição.....	97
Figura 38 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de toda a estrutura do edifício, em Hh/m ²	100
Figura 39 - Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de toda a estrutura do edifício, em Hh/m ² médio até a repetição.....	101
Figura 40 - Planejamento convencional e Planejamento estratégico com intervalos de confiança.....	105

Figura 41 - Histograma de mão-de-obra da estrutura do edifício.....	106
Figura 42 - Curva “S” da mão-de-obra.....	107
Figura 43 – Custo médio da mão-de-obra por pavimento.....	108
Figura 44 - Resultado das observações instantâneas para serventes.....	109
Figura 45 - Resultado das observações instantâneas para carpinteiros.....	109
Figura 46 - Resultado das observações instantâneas para armadores.....	110
Figura 47 - Resultado das observações instantâneas para pedreiros.....	110
Figura 48 – Resultado da distribuição geral das atividades para a execução da estrutura do edifício.....	111
Figura 49 – Relação da amostragem de trabalho por observações instantâneas por pavimento.....	112
Figura 50 - Relação da amostragem de trabalho por observações instantâneas por pavimento seguindo os mesmos princípios dos Gráficos de Efeito aprendizagem.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Evolução da produtividade média na construção civil.....	24
Quadro 2 - Determinação de tempos padrão por amostragem do trabalho.....	61
Quadro 3 - Análise dos dados para execução de fôrmas.....	80
Quadro 4 - Cálculo dos fatores redutores para execução de fôrmas.....	81
Quadro 5 - Análise dos dados para execução de escoras.....	84
Quadro 6 - Cálculo dos fatores redutores para execução de escoras.....	85
Quadro 7 - Análise dos dados para execução de armaduras.....	87
Quadro 8 - Cálculo dos fatores redutores para execução das armaduras.....	88
Quadro 9 - Análise dos dados para execução da concretagem.....	91
Quadro 10 - Cálculo dos fatores redutores para execução da concretagem.....	92
Quadro 11 - Análise dos dados para execução da desfôrma.....	95
Quadro 12 - Cálculo dos fatores redutores para execução da desfôrma.....	96
Quadro 13 - Análise dos dados para execução de toda a estrutura do edifício.....	99
Quadro 14 - Cálculo dos fatores redutores para execução de toda a estrutura.....	100
Quadro 15 – Comparação dos dados de todos os serviços.....	102
Quadro 16 - Intervalo de confiança de 95% para a produtividade na execução do edifício.....	104
Quadro 17 – Resultado das observações instantâneas.....	108

LISTA DE SIGLAS

SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil;
FIEP	Federação das Indústrias do Estado do Paraná;
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial;
PIB	Produto Interno Bruto;
Hh	Homem-hora;
TCPO	Tabela de Composição de Preços para Orçamentos;
T.I.	Tecnologia da Informação;
RUP	Razão Unitária de Produção;
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat;
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção;
SIAC	Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.2. OBJETIVOS.....	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
1.3 JUSTIFICATIVAS.....	18
1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	20
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	21
2.2 CURVAS DE APRENDIZAGEM, USO E APLICAÇÕES PELAS EMPRESAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	24
2.2.1 As curvas de aprendizagem	24
2.2.2 Os Tipos de Curva de Aprendizagem	25
2.2.3 A Escolha do Modelo para a aplicação na Construção Civil	28
2.2.4. As curvas de aprendizagem e seu uso na construção civil.....	28
2.2.4.1. Coeficiente de determinação (R^2).....	34
2.3 O PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, QUALIDADE E COMPETITIVIDADE	34
2.3.1 Produtividade, planejamento, tecnologia e tecnologia da informação	43
2.4 PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS REPETITIVOS.....	46
2.5 PRODUTIVIDADE.....	49
2.5.1 Qualidade e produtividade.....	51
2.5.2 A necessidade da determinação dos índices de produtividade na construção civil.....	52
2.5.2.1 O melhor dimensionamento de recursos financeiros.....	53
2.5.2.2 A maior precisão na determinação dos prazos.....	54
2.5.2.3 Mensurando a produtividade.....	54
2.5.2.3.1 Diferentes posturas para se medir a produtividade..	55
2.6 A PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SEUS FATORES NO MUNDO INTERNACIONAL.....	56
2.7 AMOSTRAGEM DO TRABALHO.....	61
3. METODOLOGIA.....	68

3.1	METODOLOGIA ADOTADA PARA ANÁLISE DO EFEITO APRENDIZAGEM.....	70
3.2	METODOLOGIA ADOTADA PARA ANÁLISE DA AMOSTRAGEM DO TRABALHO.....	71
3.3	METODOLOGIA PARA REALIZAR A CO-RELAÇÃO ENTRE EFEITO APRENDIZAGEM E AMOSTRAGEM DO TRABALHO POR PAVIMENTO.....	72
3.4	METODOLOGIA PARA APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	73
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	75
4.1	O ESTUDO DE CASO	75
4.1.1	Forma e técnicas de execução adotada pela empresa.....	75
4.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO OBTIDOS DA ANÁLISE DOS DADOS.	79
4.2.1	Resultados e discussões quanto a execução de fôrmas.....	80
4.2.2	Resultados e discussões quanto a execução de escoras.....	83
4.2.3	Resultados e discussões quanto a execução das armaduras.....	87
4.2.4	Resultados e discussões quanto a execução da concretagem.....	91
4.2.5	Resultados e discussões quanto a execução da desfôrma.....	95
4.2.7	Resultados e discussões quanto a execução global da estrutura.....	98
4.2.8	Comparação dos coeficientes de determinação, equações Taxas “S” para os serviços.....	102
4.3	CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA PARA O PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E GESTÃO DE OBRAS.....	103
4.3.1	Visualização gráfica dos dados para fins de planejamento.....	106
4.3.2	Análise dos dados da amostragem do trabalho.....	108
4.3.3	Análise dos dados da amostragem de trabalho por pavimento.....	111

5. CONCLUSÕES.....	114
REFERÊNCIAS.....	117
ANEXOS.....	127

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o estudo da produtividade em obras vem ganhando importância na literatura brasileira. Verifica-se no setor de construção civil, um avançado movimento no desenvolvimento de programas de qualidade e produtividade. Exemplos desses movimentos em direção à busca constante de melhorias da qualidade e da produtividade estão em parcerias de entidades, sindicatos de empresas construtoras e outros órgãos, tais como: o Programa da Qualidade e Produtividade na Construção Civil do Paraná, o Projeto Obra Nota 10, que é uma iniciativa que une toda a cadeia da construção do Oeste do Paraná, coordenado pelo SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas) e SINDUSCON (Sindicato da Indústria da Construção Civil) do Oeste do Paraná e a FIEP (Federação das Indústrias do Estado do Paraná) e o SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial); o Clube da Qualidade da Construção do Rio de Janeiro; o Sistema de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras do Sinduscon/São Paulo, entre outros, os quais têm como objetivos finais o fortalecimento das empresas, a redução do custo final das obras e ampliação das oportunidades para as pessoas adquirirem seu imóvel.

A busca de melhores indicadores de qualidade e produtividade é um dos principais pontos enfatizados em todos esses programas. Apesar do esforço constante no sentido da busca de indicadores, existem poucos trabalhos na literatura nacional sobre índices e comportamento da produtividade de obras de construção civil brasileiras.

Ressalta-se que obras de edifícios de grande porte de caráter repetitivo são casos que merecem estudos mais criteriosos, sendo que obras com estas características apresentam diversos estudos e artigos a nível de literatura internacional. Nestes tipos de obras surge um fenômeno característico, denominado efeito aprendizagem, o qual possibilita aumentos expressivos de produtividade, por meio da repetição da execução dos serviços da obra. A base de todos os benefícios da repetição na construção é a operação contínua, isto é, o trabalho é realizado sem interrupções, com poucas alterações na equipe de trabalho, as quais abrangem edificações do tipo: conjuntos prediais, conjuntos residenciais e prédios altos com mais de dez pavimentos (OLIVEIRA et al., 1998).

Torna-se imprescindível, portanto, um entendimento mais aprofundado das atividades de construção. Cada empresa construtora precisa conhecer seus limites de desempenho, analisar sua produtividade, aprimorar recursos e se comparar com empresas concorrentes, gerando subsídios para tomada de decisões estratégicas na gestão da obra. Afinal, em um

ambiente de competitividade acirrada, torna-se vital para as empresas conhecerem sua verdadeira margem e seus diferenciais competitivos (TCPO, 2003).

A presente pesquisa partiu do princípio que a busca constante de uma melhor produtividade para a construção de edifícios de grande porte de caráter repetitivo pelas empresas construtoras, no sub-setor de construção civil, deve passar pela melhor gestão de planejamento. Com esta pesquisa, procura-se obter respostas a uma importante demanda do setor: a era da gestão dos serviços nas obras.

Desta forma neste trabalho pretende-se analisar o comportamento da produtividade na construção de um edifício com pavimentos-tipo (caracterizado por ser construído com vários andares e de caráter repetitivo, sendo todos os pavimentos idênticos), em uma cidade na região sul do Brasil, sendo que a pesquisa concentrou-se na execução da estrutura de concreto armado. Com o estudo dos dados sobre produtividade levantados neste edifício durante a fase de sua execução, desenvolveu-se um trabalho referente a aplicação, caracterização, planejamento e programação de obras, aplicando-se as curvas de aprendizagem na execução de serviços de construção, mais especificadamente na estrutura do edifício pesquisado e propondo soluções.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

No mundo atual, com o advento da globalização, surgimento de novas tecnologias e processos construtivos, as empresas necessitam cada vez mais executar seus projetos com qualidade para serem competitivas. Porém, não só a qualidade é importante, mas também o custo final do produto, que pode ser diminuído com uma boa gestão dos serviços.

Sem uma melhoria na gestão de planejamento, uma busca pela inovação e um diferencial competitivo, uma estratégia que as diferencie competitivamente de outras empresas concorrentes (como já é observado a necessidade atualmente), de certa forma, será cada vez mais difícil para uma empresa sobreviver neste mercado que se revela cada vez mais competitivo e acirrado.

Segundo Limmer (1996), em uma época em que se fala de qualidade e, por conseqüência, em produtividade, é necessário que o gerenciamento de um projeto (empreendimento) seja feito como um todo, concentrando recursos humanos, materiais, equipamentos e também políticos, de forma a obter-se o produto que é desejado, o empreendimento, dentro dos parâmetros de prazo, custo, qualidade e riscos previamente estabelecidos.

Muitas empresas construtoras, dependendo do tipo de contrato que estabelecem para a entrega das obras, geralmente quando realizam para órgãos públicos, precisam pagar multas altíssimas quando atrasam o prazo de entrega, causando enormes prejuízos e situações incômodas para que possam sobreviver, sendo que estas multas, em muitos casos, sobem ainda mais à medida que o atraso fica ainda maior, o que leva muitas empresas a desistirem de participar de licitações públicas justamente pela dificuldade que o mercado estabelece.

Nos contratos por preço fixo, é comum a criação do prêmio e da multa, ou seja, o construtor recebe um prêmio em dinheiro se conseguir reduzir custos e/ou prazos de execução da obra, sem causar prejuízos de qualidade para a mesma, o qual cresce na razão direta, ou, às vezes, até exponencialmente, das reduções alcançadas. Na eventual ocasião de ser ultrapassado o prazo e o custo na execução inicialmente fixados, o construtor é penalizado com multa que, assim como o prêmio, é variável em função dos valores atingidos (LIMMER, 1996).

Segundo Moreira e Bernardes (2008), com o aumento da competição no mercado da construção civil, não só as empresas de grande porte ou as mais estruturadas têm demonstrado interesse na melhoria de seu processo de planejamento e controle de obras, mas também as micro e pequenas empresas estão investindo nesta área. Algumas capacitam o seu quadro técnico em planejamento e controle, por meio de cursos de extensão, especialização ou, até mesmo, com mestrados profissionalizantes. Algumas empresas, independentemente do porte, estão realizando parcerias com universidades e centros de pesquisas.

Os construtores estão passando por um grande desafio na construção civil na atualidade: assegurar a qualidade e a produtividade nas construções apesar da escassez de mão-de-obra. No ano de 2009, as entidades setoriais alertaram para a falta de profissionais na cadeia produtiva em todos os níveis: desde serventes a engenheiros e esta realidade já se vive nos canteiros. O problema resulta, paradoxalmente, da rápida recuperação brasileira frente à recente crise econômica mundial, da oferta abundante de crédito, do aquecimento do mercado habitacional, principalmente o de baixa renda, com programas como o “Minha Casa, Minha Vida”, além do farto investimento em obras de infra-estrutura, estimulado pela realização da Copa de 2014 e Olimpíadas em 2016. Diante deste cenário, o Produto Interno Bruto (PIB) do setor deverá crescer aproximadamente 12% entre 2010 e 2012, percentual bem acima do 1% previsto para o ano de 2009. Como enfrentar este gargalo é uma questão que vem sendo discutida em uma série de encontros e entidades setoriais e acadêmicas (PINIWEB, 2009).

Contudo, a situação que se encontra a construção civil é de certa forma preocupante para as empresas construtoras, pois ainda se observa a utilização, na grande maioria das obras,

de processos construtivos convencionais (que de certa forma não favorecem a qualidade e a produtividade, e além disso geram desperdícios, retrabalhos e perdas), os prazos de obras são cada vez mais curtos e reduzidos para entrega, mão-de-obra escassa, mercado cada vez mais competitivo e exigente, engenheiros saindo das universidades e entrando no mercado cada vez mais jovens e falta de um planejamento estratégico para que a empresa possa alavancar seus lucros. Sendo assim, como garantir que a obra seja entregue com qualidade, sem perdas, desperdícios e retrabalho e dentro do prazo estabelecido em contrato?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é analisar o comportamento quanto à produtividade na execução da estrutura de concreto armado de um edifício de grande porte de caráter repetitivo (constituído de pavimentos-tipo), por meio da análise do efeito aprendizagem e da realização da amostragem de trabalho por pavimento.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Modelar o comportamento da produtividade por pavimento no decorrer da construção do edifício através das curvas clássicas estabelecidas sobre o assunto na construção civil (Curvas de aprendizagem);
- b) Empregar a técnica de amostragem do trabalho para analisar o comportamento da produtividade ao longo do processo construtivo (por pavimentos) na execução da estrutura do edifício;
- c) Co-relacionar o comportamento quanto a produtividade obtido através das curvas de aprendizagem com os resultados obtidos na amostragem de trabalho por pavimentos, verificando se realmente ocorre um aumento de produtividade ao longo do processo;
- d) Analisar e prever um planejamento estratégico, diferenciado e mais refinado para as empresas construtoras com base nas informações coletadas sobre produtividade, objetivando uma melhoria para a gestão de planejamento estratégico e controle de obras;

- e) Estabelecer inovações no planejamento que pode servir de cunho estratégico para as empresas, para que as mesmas possam estabelecer metas diferenciadas e tomadas de decisões eficazes no planejamento e controle de obras.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Diante das dificuldades pelas quais passou o setor de construção civil, ocasionado pela crise financeira mundial, que assolou o mundo no início de 2009, e diante da mudança do perfil dos consumidores e trabalhadores, agora mais exigentes e conscientes de sua cidadania, as empresas do setor vêm enfrentando cobranças que as têm levado a repensar suas atuais formas de gestão, planejamento e produção, tentando, dessa forma, manter-se em um mercado cada vez mais competitivo e globalizado.

Devido a esses parâmetros de mercado, muitas empresas construtoras têm buscado alternativas de produção que lhes permitam obter um aumento de produtividade e da qualidade intrínseca do produto e redução de custos de produção e, em decorrência, a satisfação dos anseios e das exigências dos clientes. Boa parte desta busca pela maior qualidade e eficiência pode ser ainda analisada na etapa de planejamento da obra.

Como bem destacam os autores Park et al. (2005), a produtividade na indústria moderna da construção civil tem sido um objeto de grande preocupação e estudos, tanto em estudos acadêmicos como na prática. Embora muitas empresas do setor desenvolveram seus próprios sistemas de acompanhamento de produtividade com base em suas experiências e de sistemas de controle, não foram bem sucedidos no estabelecimento de definições comuns para desenvolver uma ferramenta que recolhe dados padrão de produtividade *in loco*, aos níveis adequados e em âmbitos globais.

Ainda, para enfatizar a importância do planejamento antes da execução de um edifício, os autores Kellogg et al. (1981), citam que uma análise eficiente sobre questões relacionadas a produtividade sugere que o problema deve ser tratado como uma continuidade da concepção do projeto até a conclusão da obra, e não apenas no campo de fase da construção.

Segundo Picchi (1993), a escola de formação dos profissionais da construção de edifícios tem sido a própria obra, através de um processo desorganizado e sem planejamento. Afirma, ainda, que a escassez da mão-de-obra qualificada acaba gerando serviços de baixa qualidade, ocasionando retrabalho para consertar defeitos de construção, o que explica, também, parte dos elevados índices de desperdícios e baixa produtividade do setor.

Infelizmente, ainda hoje, passado um tempo certamente relevante das citações feitas por este autor, a situação continua a mesma apresentada por Picchi.

No período anterior à crise mundial de 2007/2008, a construção civil brasileira viveu momentos de histórico crescimento, o que contribuiu para o aumento significativo da mão-de-obra de baixa qualificação no setor. Este fenômeno voltou a ser observado no período pós crise, notadamente a partir do quarto trimestre de 2009. Enfatiza-se, aqui, a importância da busca constante pelas empresas construtoras pela melhoria da qualidade, gestão, organização e formação da mão-de-obra, tanto no que se refere a informação quanto à segurança.

O setor de construção civil de edifícios, dispõe-se de alguns cursos de formação profissional ministrados usualmente por organismos como o SENAI e o SINDUSCON, além de algumas iniciativas de Universidades e/ou Cursos profissionalizantes em contribuir para a formação profissional com a elaboração de material pedagógico e interação com as empresas, bem como entidades como o SEBRAE e SENAI, entre outros. Além disso, mesmo que ainda em pequena escala, existe um processo de conscientização, por parte de algumas empresas construtoras, fabricantes e fornecedores de materiais, que procuram criar manuais com seus serviços detalhados, para facilitar o treinamento do trabalhador. Entretanto, mesmo diante de tais iniciativas, a carência de programas adequados ao treinamento da mão-de-obra na construção civil é uma realidade, principalmente no que diz respeito à inserção de novas tecnologias no mercado.

A importância de se conhecer a produtividade de obras de caráter repetitivo pode ser mencionado pelos seguintes fatores:

- O conhecimento da produtividade das obras é importante para poder estimar os custos de projetos futuros. O conhecimento da produtividade da equipe de mão-de-obra da empresa é de fundamental importância e a medição da produtividade de obras passadas é provavelmente a melhor forma de estimar os custos de futuros projetos;
- A determinação da produtividade é estratégica para a empresa e também é fundamental para se ter parâmetros para planejar obras futuras;
- O levantamento sistemático de índices de produtividade é vital para programas de intervenção e melhoria dos processos produtivos.

Enfatiza-se ainda, que, apesar do paradigma de que a indústria da construção civil é diferente das demais pelo fato de uma obra não ser igual às demais, ocorre o efeito aprendizagem em obras de caráter repetitivo como também pode ocorrer em obras semelhantes, mantendo a mesma equipe de trabalho.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

No primeiro capítulo apresenta-se a Introdução, a Formulação do problema, Objetivos e as Justificativas. No capítulo 2, destaca-se a Revisão Bibliográfica, que engloba o embasamento teórico sobre o tema, relacionados a produtividade na construção civil, curvas de aprendizagem, fatores que afetam a produtividade, formas de mensurar a produtividade, entre outros, além de embasamento teórico baseado em autores internacionais.

No terceiro capítulo é apresentada a Metodologia do trabalho, que foi realizado em estudo de caso. Descreveu-se a forma como foi executada a estrutura do edifício, materiais utilizados e características construtivas, além de informações sobre como foi feita a coleta de dados entre outros itens.

No capítulo 4 apresentam-se os Resultados e Discussões, onde se elaborou a partir das observações coletadas, diversos gráficos referente a curvas de aprendizagem da estrutura e também para as sub-atividades relacionadas. Descreveu-se também nesta etapa a discussão e comentários sobre os dados observados.

E, por fim, apresenta-se o capítulo 5 com as Conclusões, que consistem em uma análise quanto ao cumprimento dos objetivos propostos.

Apresenta-se, ainda, após esta etapa, as Referências utilizadas para o embasamento teórico que serviu de revisão de literatura utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Em uma economia globalizada, para sobreviverem, as empresas precisam ser dinâmicas, utilizando recursos, profissionais competentes e estratégias que permitam tomadas de decisões oportunas e eficazes para que possam ter um diferencial competitivo no mercado. Para isso, as corporações, inclusive as do setor de construção civil, precisam acompanhar a evolução mundial do mercado, modernizando-se, seja investindo no quadro funcional ou em equipamentos, em prol de alavancar seus lucros (que se tornam cada vez menores) ou simplesmente sobreviver em um mundo globalizado e extremamente competitivo, onde todos buscam alguma maneira de inovar e se diferenciar competitivamente. Os profissionais também precisam se atualizar, criando dispositivos para que obtenham conhecimento necessário para tomada de decisões corretas e no tempo certo (NASCIMENTO e SANTOS, 2003).

Tem-se acompanhado grandes mudanças na indústria da construção civil. As empresas estão adotando várias inovações tecnológicas, sistemas construtivos inovadores e industrializados no setor que prioriza a qualidade e produtividade, visando um diferencial competitivo diferenciado, sendo que algumas destas tecnologias estão se consolidando como estratégia competitiva para estas organizações que já adotaram tais sistemas. Porém, devido aos riscos e incertezas que um sistema novo e desconhecido relacionado a estas inovações tecnológicas oferecem no mercado, apenas depois de consolidada é que uma tecnologia passa a ser adotada por um número razoável de companhias (TOLEDO et al., 2000).

A caracterização da indústria da construção civil no Brasil como tradicional e conservadora ocorreu principalmente devido ao fato de que, até no final da década de 1970, observou-se muitos investimentos financiados pelo Estado, que não possuíam nenhum programa de qualidade para o setor, fazendo com que muitas companhias não procurassem inovações. Outro fator importante é que as inovações tecnológicas ocorreram ao longo dos anos, com a observação e um estudo minucioso e criterioso feito por pesquisadores experientes (TOLEDO et al., 2000). Esta situação foi agravada pelo fato de boa parte da mão-de-obra do setor ser semi-analfabeta, sendo mais despreparada e desqualificada do que outros setores da indústria da transformação. Isto dificultou a implantação de inovações a níveis básicos, mas mesmo nas hierarquias a níveis superiores observa-se a adoção de métodos de

gestão ultrapassados. Apesar das mudanças e inovações ocorridas nas últimas décadas, o setor ainda não conseguiu se igualar ao nível de eficiência, produtividade e qualidade dos outros setores da indústria (MELHADO, 2001).

Nos últimos anos, a indústria da construção civil brasileira sofreu várias influências políticas e econômicas como a privatização das empresas estatais, os efeitos da globalização e competição acirrada no mercado, a diminuição da intervenção do Estado no setor, a variação da moeda, o aumento da taxa de juros, a exigência do governo aos programas de qualidade, o aumento da competitividade, diminuição dos riscos nos investimentos e diminuição das margens de lucro das companhias (NASCIMENTO e SANTOS, 2003).

Não há índices históricos de produtividade da indústria da construção civil brasileira, até porque somente na década de 1990 surgem estudos importantes sobre a definição de tais índices (LANTELME, 1994).

A Figura 1 mostra a situação da construção civil comparada com outras indústrias entre 1960 e 2000 nos Estados Unidos. Considerando que a tecnologia e os processos construtivos adotados naquele país favorecem a produtividade, é de se esperar que a situação brasileira seja igual ou pior àquela e que aqui o setor também continue mais ineficiente que outros na indústria como um todo (TEICHOLZ, 2000).

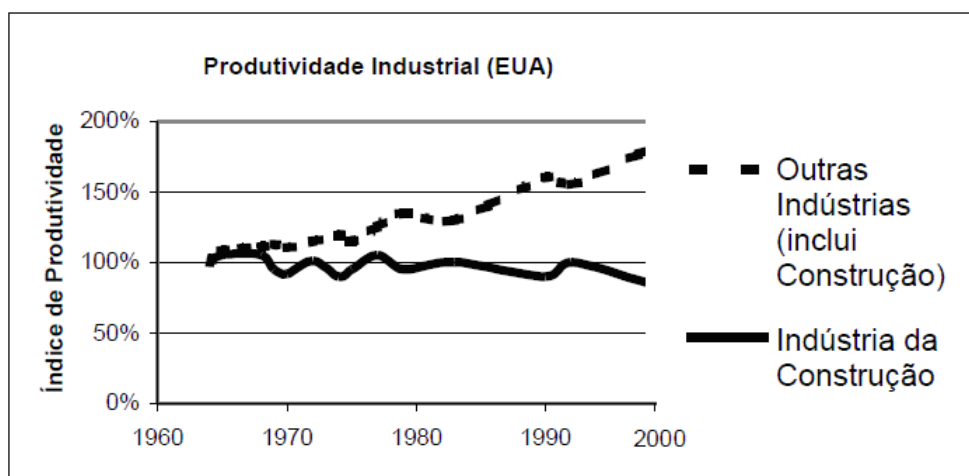


Figura 1 – Produtividade da construção civil comparada com outras indústrias nos EUA.

Fonte: Teicholz, 2000.

A Figura 2 ilustra esquematicamente as grandes mudanças na construção civil no Brasil, desde o *boom* em 1960 com a construção de Brasília. Neste intervalo houve dois picos: na época de Juscelino Kubitschek (“50 anos em 5”) e o início da década de 1970 com o

“milagre econômico”. A partir da década de 1980 o setor entrou em uma grande recessão que, de certo modo, continua até os dias atuais (TEICHOLZ, 2000).

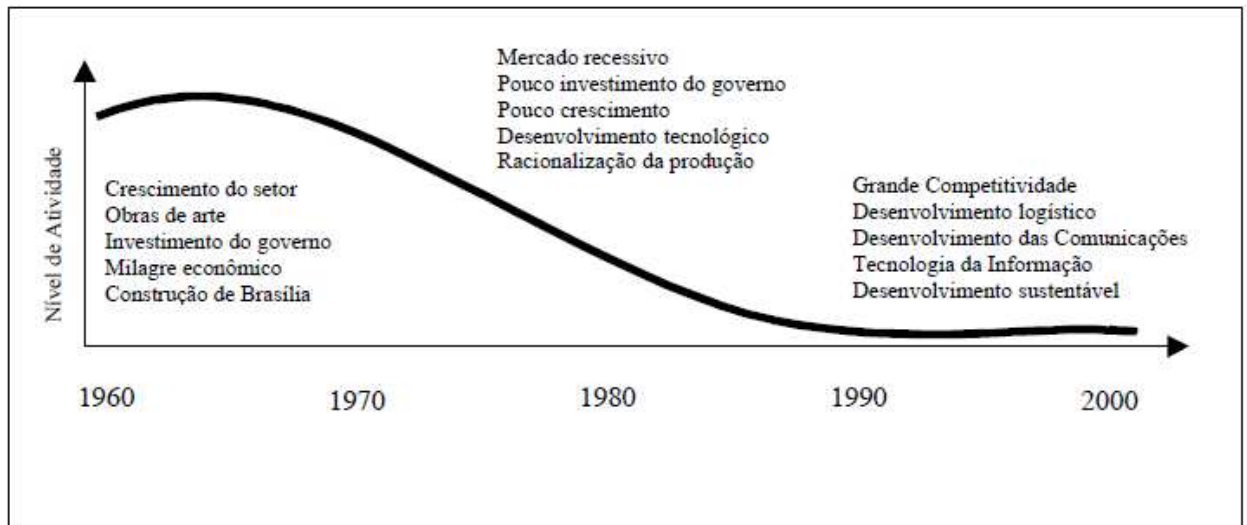


Figura 2 – Histórico da indústria da construção civil no Brasil.

Fonte: Teicholz, 2000.

Segundo Limmer (1996), uma gestão da qualidade resulta consequentemente em melhorias de produtividade, sendo que a mão-de-obra terá de ser treinada para realizar tarefas com maior eficiência, e cada integrante da equipe de trabalho terá melhor definida sua função no sistema de produção, levando-o a conscientizar do papel que desempenha nesse sistema. Sendo assim, diminuem também as perdas por operações inadequadas e o desperdício decorrente da falta de treinamento desta mão-de-obra.

Segundo o mesmo autor, quase todo empreendimento de engenharia engloba uma fase de construção. Esta atividade é exercida no Brasil por empresas que, na sua maioria, ainda não aderiram a um sistema de garantia da qualidade. A maior concentração no setor de construção civil é na área habitacional, na qual ocorre também a maior demanda por parte dos usuários em potencial. Existe, no país, um grande déficit habitacional, tornando o mercado francamente consumidor. Por outro lado, o consumidor de habitação não tem muitas vezes consciência dos seus direitos, e lhes é vendido qualquer coisa (e ele compra, pois não tem alternativa), independente do grau de qualidade que a tão sonhada casa própria por ele sonhada apresenta.

Destaca-se que a política do setor habitacional no Brasil é instável, indefinida, dificultando o planejamento e investimento de médios e longos prazos indispensáveis à implantação de um sistema de garantia de qualidade. Cria-se, assim, um círculo vicioso que

precisa ser rompido com medidas eficazes de integração de todos os envolvidos. Por todas essas razões, a construção civil é e continuará sendo a maior indústria de mão-de-obra não qualificada, de baixíssima produtividade e que não evolui, conforme pode ser observado no Quadro 01, formando um contingente de miseráveis e atingidos ao menor sinal de crise. A menos que se estabeleça um plano plurianual de obras e se dêem educação e treinamento à massa de operários não qualificados.

Evolução da produtividade média, nos últimos anos, na construção civil	
Europa	50%
Estados Unidos	50%
Japão	170%
Brasil	0%

Quadro 01 – Evolução da produtividade média na construção civil.

Fonte: Limmer (1996).

2.2 CURVAS DE APRENDIZAGEM, USO E APLICAÇÕES PELAS EMPRESAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.2.1 As Curvas de Aprendizagem

Segundo a Bios Publications (2000), as empresas normalmente executam de maneira ineficaz uma nova tarefa quando as estão enfrentando pela primeira vez ou quando mudam de um antigo procedimento para um modo radicalmente diferente de executá-lo. As melhorias que são esperadas em velocidade e eficiência provocadas pela experiência acumulada têm sido representadas utilizando-se as curvas de aprendizagem. Os gerentes de várias indústrias utilizam estas curvas para estimar custos futuros e identificar as taxas de produção.

Segundo Thomas et al. apud Leite et al. (2004), os fatores que afetam a produtividade podem ser organizados em grupos, como mão de obra, aspectos relativos ao projeto e conteúdo do trabalho, condições ambientais, práticas gerenciais de controle, métodos de execução e estrutura organizacional do projeto.

Entre os vários fatores citados anteriormente, nos trabalhos de caráter repetitivo, surge o efeito aprendizado, representado graficamente pela curva de aprendizagem, onde após o operário já ter executado várias vezes uma tarefa, o mesmo adquire maior confiança e agilidade em sua execução, aumentando, assim, sua produtividade. Porém, esse fenômeno só é possível se o

trabalho for contínuo e repetitivo, ou seja, não ocorrerem significativas interrupções nos processos e nem alterações no método executivo do serviço analisado no processo de produção, e sendo este executado por uma mesma equipe de funcionários.

Segundo Heineck apud Leite et al. (2004), a repetição de uma tarefa, o treinamento e a familiarização na sua execução, enfim, a experiência no processo, conduzem a um melhor desempenho, ou seja, a um aumento da produtividade nesta tarefa. Várias são as razões que explicam o efeito aprendido: familiarização com o trabalho, melhoria da coordenação da equipe e dos equipamentos, melhoria na coordenação para a execução das tarefas no trabalho, melhor e aumento da eficácia do gerenciamento e supervisão no dia a dia, desenvolvimento de melhores métodos de execução, melhores formas de suprimento às tarefas e menores alterações nos trabalhos.

Farghal e Everett (1997) mostram dados históricos de sessenta atividades relacionadas com construção coletadas de várias fontes. Os serviços relacionados fazem parte das mais variadas atividades, como construções residenciais, operações com guindaste, fabricação de pré-moldados de concreto, construção de pontes e também a escavação de túneis.

2.2.2 Os Tipos de Curva de Aprendizagem

A maioria das pesquisas em aprendizagem tem focado o estudo dos modelos matemáticos. Segundo Farghal e Everett (1997), os mais famosos modelos de curvas de aprendizagem incluem o modelo linear, o modelo *Stanford B*, o modelo cúbico, o modelo exponencial e o modelo segmentado. Os tipos de curva de aprendizagem estão demonstrados na Figura 3 (THOMAS et al., 1986).

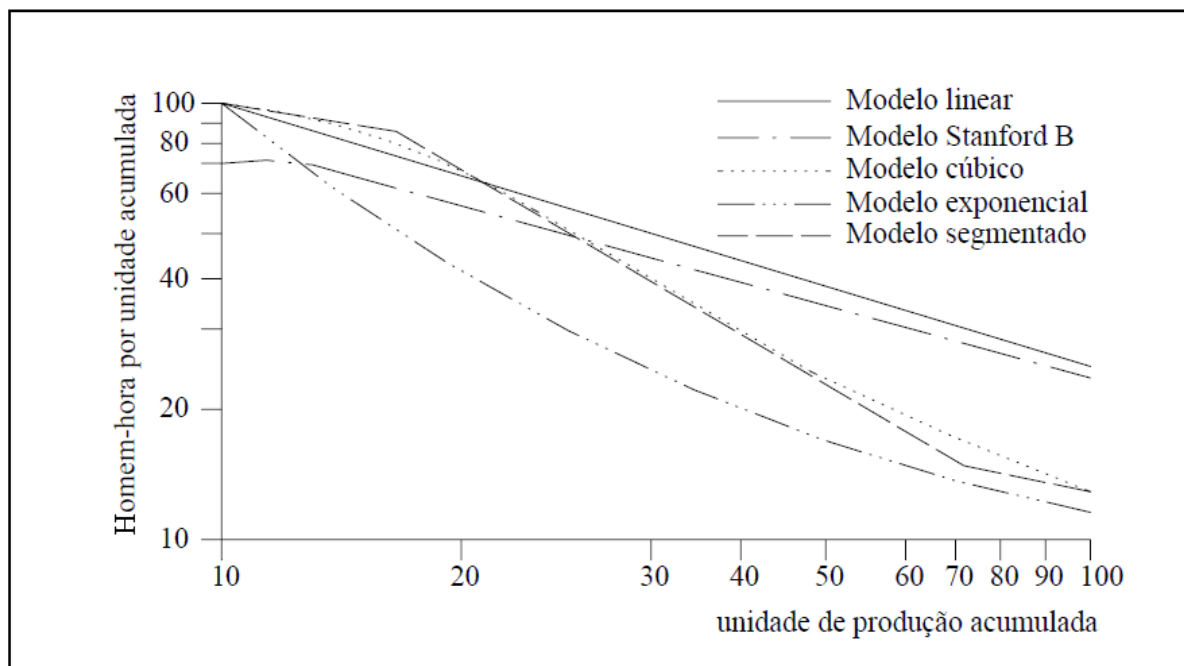


Figura 3 – Tipos de curvas de aprendizagem – Escala Logarítmica.

Fonte: Thomas et al. (1986).

O modelo linear de curva de aprendizagem, segundo Thomas et al. apud Leite et al. (2004), é o modelo mais usado para a análise das atividades na construção civil. Este modelo é nomeado de linear porque forma uma linha reta quando desenhado em uma escala logarítmica. O princípio do modelo linear é que a taxa “S” permanece constante ao longo da duração da atividade.

Segundo o mesmo autor, a curva de aprendizagem original foi desenvolvida em 1936 pela T. P. Wright. A fórmula do modelo linear é representada na Equação 1.

$$Y_x = A \cdot X^{-n} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

- Y_x é o custo, quantidade de homem-hora ou tempo necessário para x-ésima operação;
- A é o custo, quantidade de homem-hora ou tempo necessário para primeira operação;
- n é o parâmetro que caracteriza a curva de aprendizagem.

Segundo Oliveira et al. (1998), este fator n está associada a uma certa porcentagem de redução do tempo médio de execução de uma unidade, quando se dobra o lote de produção em questão. Esta porcentagem é chamada de taxa “S” e estabelece a inclinação da curva. Quanto menor a porcentagem da taxa “S”, maior é o aprendizado. Na construção civil tem se

observado curvas entre 80% ($n = 0,322$) e 95% ($n = 0,074$), sendo que para execução de estruturas de edifícios, a literatura aponta para uma taxa “S” de aproximadamente 95%.

Segundo Thomas et al. (1986), a Equação 1 também pode ser apresentada de forma logarítmica, conforme representada na Equação 2.

$$\log Y_x = \log A - n \log X \quad (\text{Eq. 2})$$

Segundo Oliveira et al. (1998), vários pesquisadores a nível internacional desenvolveram modelos matemáticos, ou curvas de aprendizagem, que descrevem a variação da produtividade em função do número de unidades produzidas. Os principais pontos na teoria das curvas de aprendizagem são:

- determinar um modelo preditivo;
- compreender os fatores que afetam a taxa “S”; e
- estimar os parâmetros do modelo.

Segundo Thomas et al. (1986), a melhoria nos índices de produtividade através da repetição de tarefas foi observada pela primeira vez por Wright, na fabricação de aviões. Wright formulou uma lei, conhecida por seu nome, segundo a qual cada vez que se dobra o lote de produção, o esforço médio para realizá-lo (em termos de horas ou homens-hora), declina à razão de uma determinada porcentagem do lote anterior. No esforço de reconstrução da Europa no pós-guerra, este fenômeno também foi observado na construção de conjuntos habitacionais de casas e de edifícios. A produtividade ganha devido ao efeito aprendizagem, é uma função da taxa, “S”, ligada ao fator n que está associada à porcentagem de redução do tempo médio de execução de uma unidade, quando se dobra o lote de produção em questão mostrada na Equação 3.

$$S = 2^{-n} \quad (\text{Eq. 3})$$

A taxa “S” é expressa em forma de porcentagem. Quando esta taxa é 100%, não há mais nenhum aumento de produtividade.

O modelo *Stanford B* assume que o modelo linear é a situação normal partindo-se do princípio que os operários não têm nenhuma experiência adquirida. Experiência adquirida é definida como o *know how* ou a experiência resultante da execução de várias atividades similares ou da construção de unidades idênticas em um passado relativamente recente. O modelo *Stanford B* é uma espécie de modificação do modelo linear para considerar o ganho de experiência. Esta

experiência resulta em ganho de produtividade que será cada vez menor durante a fase de aprendizagem.

O modelo cúbico assume que a taxa “S” não é uma variável constante, variando ao longo do processo devido ao fato de a combinação entre a prévia experiência e o nivelamento da produtividade em atividades que se aproximam da sua conclusão (THOMAS et al., 1986).

O modelo exponencial para a curva de aprendizagem foi desenvolvido na Europa pelo Instituto de Pesquisa de Construção Norueguês. Este modelo baseia-se na regra que, parte do custo, homem-hora ou tempo por unidade, que pode ser diminuído pelo efeito aprendizagem, será reduzido pela metade depois de um número “n” constante de repetições. E, finalmente, o modelo segmentado é a aproximação linear do modelo cúbico (LEITE et al., 2004).

2.2.3 A Escolha do Modelo para a aplicação na Construção Civil

Segundo Thomas et al. (1986), dados de sessenta e cinco atividades semelhantes foram usados para desenvolver os vários modelos de curva de aprendizagem existentes. O modelo exponencial, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa de Construção Norueguês, era insatisfatório na maioria do tempo. Para os dados cumulativos comuns, o modelo linear foi comparado ao modelo cúbico, e constatou-se que este era mais consistente. O modelo segmentado e o modelo Stanford B foram estudados profundamente em 1984, utilizando-se dados da tabela de produtividade de serviços de um edifício de seis pavimentos.

Segundo Farghal e Everett (1997), o modelo linear caracteriza a melhor correlação entre desempenhos atuais e passados para os modelos e atividades que foram testadas. Além disso, este é o modelo mais usado na maioria dos artigos publicados sobre o assunto. Eles mostram que em dados de sessenta atividades selecionados no setor da construção civil, o modelo de curva linear é o mais fidedigno na previsão de desempenhos futuros. Os dois autores ainda lembram que este modelo é a curva de aprendizagem original primeiramente descrita em 1936 e que o modelo cúbico caracterizava um melhor ajuste a dados do passado e o modelo linear se ajustam melhor aos mais recentes dados.

2.2.4. As curvas de aprendizagem e seu uso na construção civil

Várias são as razões que explicam o efeito aprendizagem: familiarização com o trabalho, melhoria da coordenação da equipe e dos equipamentos, melhoria na coordenação dos trabalhos, melhor gerenciamento e supervisão no dia-a-dia, desenvolvimento de melhores

métodos de execução, melhores formas de suprimento de tarefas, menores alterações nos trabalhos e redução de trabalho, entre outros (THOMAS et al., 1986).

Segundo Oliveira et al. (1998), para que o efeito aprendizagem realmente ocorra, é necessário que a execução do serviço seja contínua, sem interrupções prolongadas e que não haja grandes variações de equipes de operários. A Figura 4 apresenta, como exemplo, o serviço da execução de alvenaria em uma obra, pelo qual pode-se verificar a continuidade do serviço e a ordem de execução das unidades. É possível também visualizar o período gasto para execução, início e fim do trabalho, ou seja, verificar que o serviço está dentro do prazo previsto.

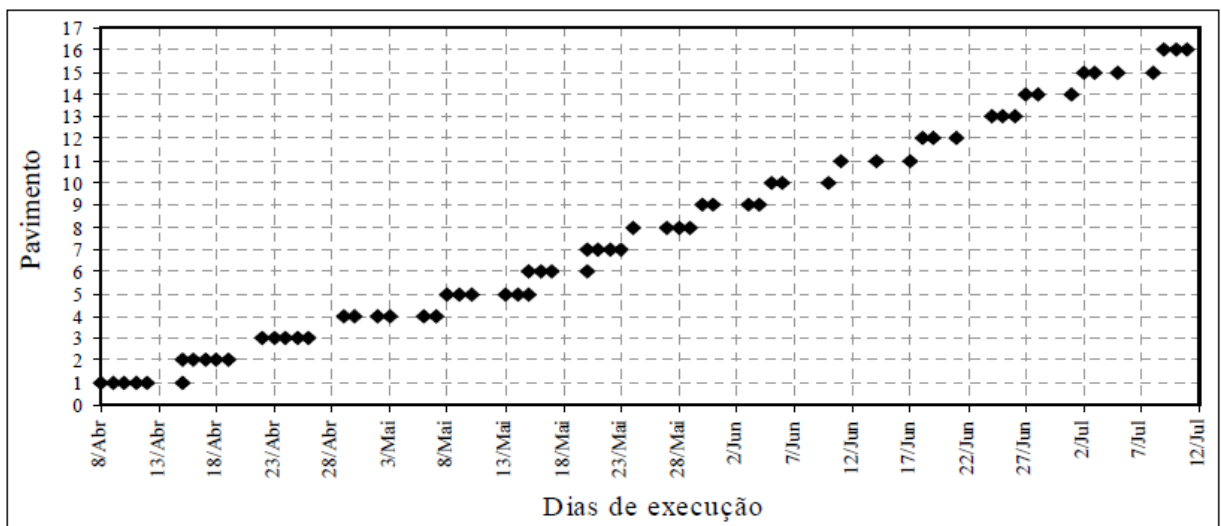


Figura 4 – Dias gastos para execução do serviço contínuo.

Fonte: Oliveira et al. (1998).

Segundo os mesmos autores, quando o serviço é realizado como da forma realizada anteriormente, a influência do efeito aprendizagem pode ocorrer com maior facilidade, como demonstrado na Figura 5, pelo qual pode se observar que, ao longo dos dias de execução dos serviços de alvenaria de um edifício de pavimento-tipo, a produtividade foi aumentando consideravelmente, ou seja, o consumo de homem-hora por metro quadrado foi reduzida.

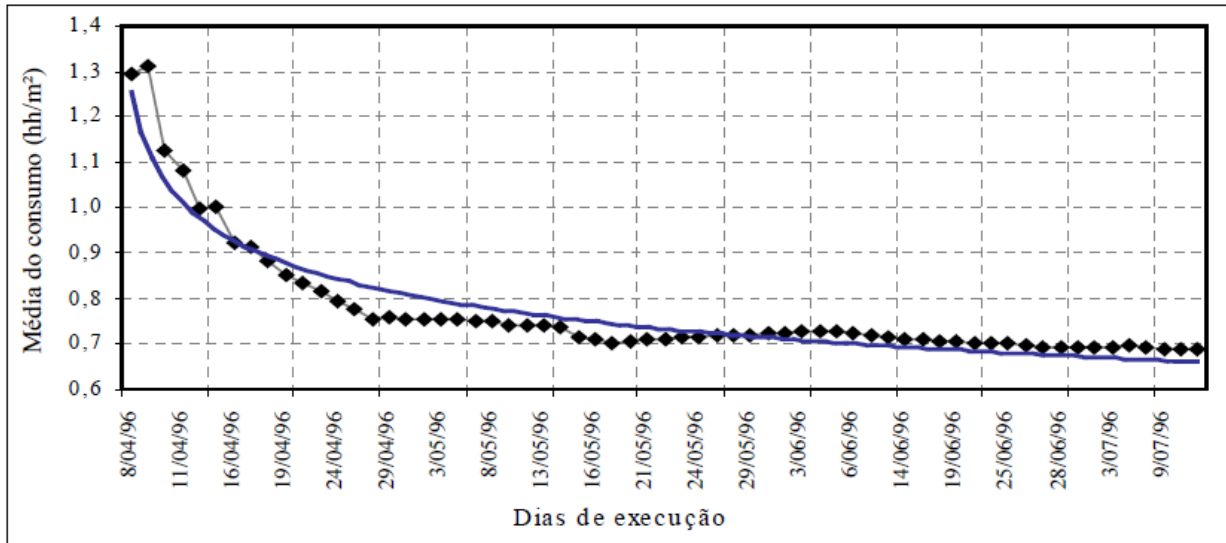


Figura 5 – Consumo médio de Homem-hora (Hh) até a data de execução do serviço de alvenaria em um edifício de pavimento-tipo.

Fonte: Oliveira et al. (1998).

Na Figura 6 verifica-se descontinuidade e interrupções na execução de reboco de teto de um edifício. Como consequência, a Figura 7 representa o inverso do que se chama de efeito aprendizagem, pois o consumo de mão-de-obra sofre um pequeno acréscimo no decorrer dos dias de execução. Este tipo de comportamento ocorre quando o serviço é descontínuo, as equipes de trabalho foram muito variadas, houve problemas na obra, entre outros (OLIVEIRA et al., 1998).

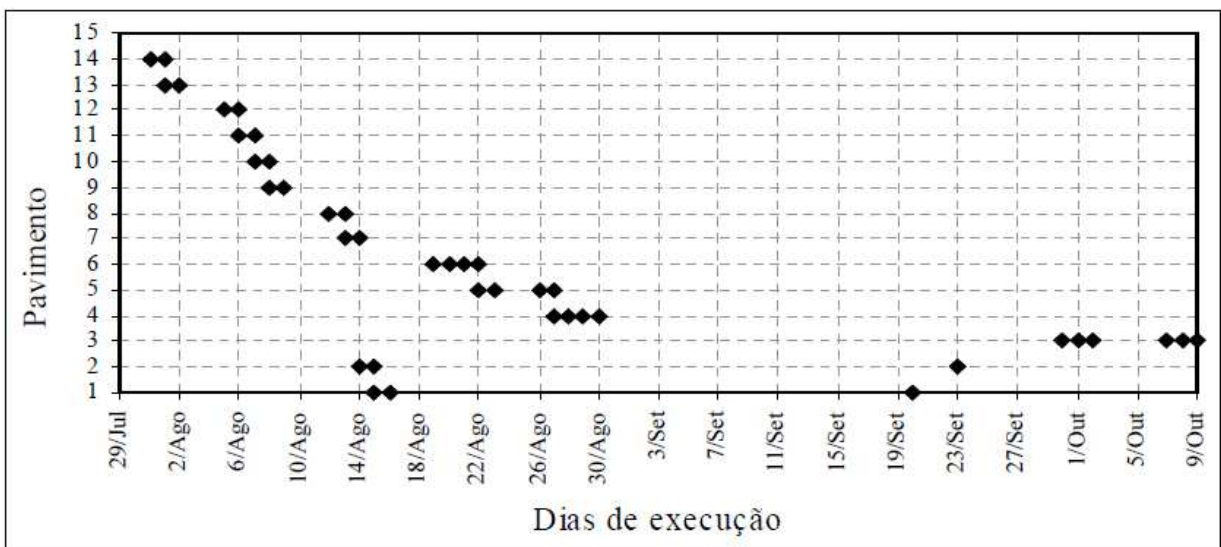


Figura 6 – Dias gastos para execução de serviço descontínuo.

Fonte: Oliveira et al. (1998).

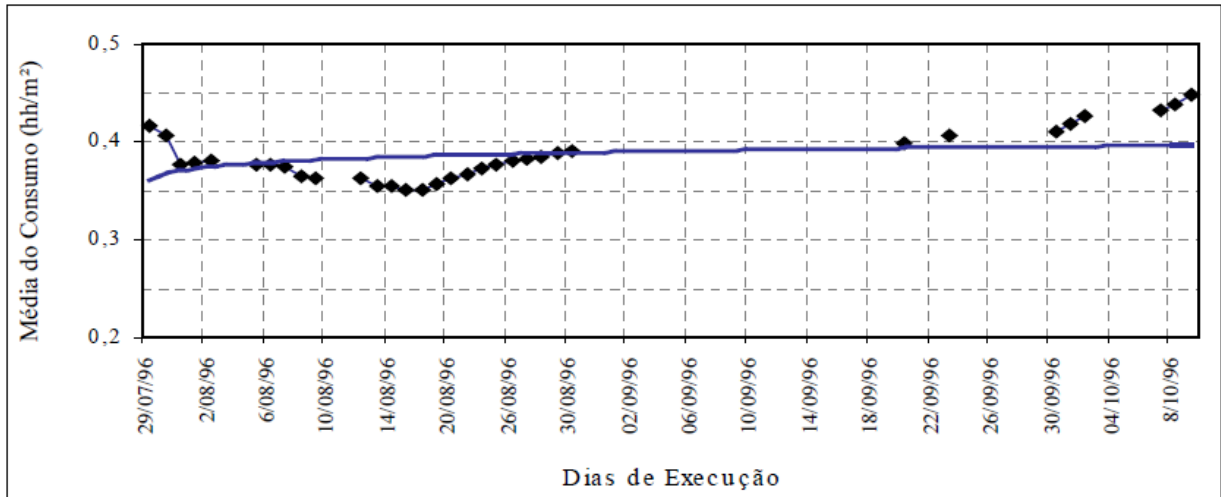


Figura 7 – Consumo médio até a data de execução do serviço de reboco de teto de um edifício.

Fonte: Oliveira et al. (1998).

Segundo Gehbauer et al. (2002), quando em uma construção se tem múltiplas repetições de uma mesma etapa de produção, pode-se obter um efeito de treinamento na equipe de trabalho que as executa, que leva a um aumento de produtividade na obra. Denomina-se isto de aprendizagem. Isto é percebido com maior clareza nas primeiras repetições. Juntamente ao número de repetições, existem também outros fatores que têm influência no grau do efeito aprendizagem, tais como grau de dificuldade do trabalho, composição da equipe, duração do trabalho conjunto dos operários de uma equipe, interrupções no processo de execução e nível de preparação das atividades.

No âmbito de planejamento da obra, geralmente é suficiente que o efeito aprendizagem seja considerado em forma de uma redução do tempo gasto na execução do serviço. O tempo gasto na primeira execução é considerado sempre como 100%. Devido a ocorrência de aumento de produtividade (efeito aprendizagem), tem-se para a primeira repetição uma redução do tempo de execução. Nas repetições subseqüentes tem-se ainda uma maior redução de tempo gasto, que, entretanto, torna-se cada vez menor, aproximando-se do zero após um determinado número de repetições (GEHBAUER et al., 2002).

Segundo os mesmos autores, os valores relativos a esta redução de tempo são maiores para as atividades mais complexas (por exemplo: produção de fôrmas) e menores para as atividades menos complexas (por exemplo: desmontagem de fôrmas). Em processos mais complexos, o tempo gasto para a execução poderia se desenvolver da seguinte maneira: 100% para a primeira execução, 80% para a segunda, 64% para a terceira, 51% para a quarta e 41%

para a quinta. Para os processos menos complexos, estes valores seriam respectivamente: 100%, 90%, 81%, 73% e 66%.

Quando a equipe de planejamento da obra prevê a execução de um pavimento por semana (5 dias de trabalho), com uma equipe já harmonizada e familiarizada com os serviços (depois da quarta repetição), ele deve considerar aproximadamente 12 dias para o primeiro pavimento, 10 dias para o segundo, 8 dias para o terceiro, 6 dias para o quarto e 5 dias para os seguintes (GEHBAUER et al., 2002).

Segundo Gates e Scarpa (1972), a aplicação mais óbvia das curvas de aprendizagem é a relacionada a problemas de alocação de mão de obra. Exemplos específicos para o setor de construção civil são estabelecer previamente preços para projetos residenciais, onde o lucro dependerá do custo da construção; estimar o aumento da produtividade para obter um preço competitivo, negociar contratos com empreiteiros e planejar o suporte logístico prevendo um aumento da produtividade.

Haneiko e Henry (1991), analisando dados de produtividade relativos a uma grande construção do setor industrial, concluíram que este efeito aprendido esteve presente em atividades de longa duração e que consumiram mão de obra significativamente. Piggot apud Leite et al. (2004) considera importante o efeito da repetição na produtividade total da mão de obra e aconselha que este fator seja levado em conta no gerenciamento e planejamento da construção.

Segundo Farghal e Everett (1997), os dados da curva de aprendizagem são representados tradicionalmente de duas formas: com dados unitários e com dados médios cumulativos. Os representados com dados unitários mostram o tempo ou os custos necessários para completar um determinado ciclo versus o número do ciclo. Os representados por dados médios cumulativos mostram o tempo ou o custo médio necessário para completar todos os ciclos anteriores *versus* o número do ciclo. Segundo Marchiori (1998), os dados unitários apresentam o desempenho atual de atividades repetitivas exatamente como aconteceu e quando aconteceu. Isto é o dado bruto na sua forma mais simples. Contudo, para muitas atividades de construção pode existir uma alta dispersão desses dados.

A média cumulativa ajuda a diminuir a dispersão dos dados por meio da média de vários ciclos juntos. Uma maior vantagem dos dados médios cumulativos é que eles proporcionam ao gerente o controle do custo e do cronograma físico (FARGHAL e EVERETT, 1997apud MARCHIORI, 1998).

Segundo Wannawit (2009), torna-se fundamental no ambiente competitivo do mercado atual que se utilize o modelo de curva de aprendizagem para base de estimativa de

custo de mão-de-obra na construção civil para projetos iguais e/ou acima de 10 repetições. Segundo o mesmo autor, com o conhecimento do modelo, pode-se estimar o tempo de trabalho e também de custos do projeto com maior precisão.

Segundo Thomas (2009), as curvas de aprendizagem aparecem frequentemente em construções repetitivas e, por vezes, sendo parte de reclamações que partem para o orçamentista da obra durante o início de sua execução, estabilizando-se no final da mesma. Segundo o mesmo autor, sugere-se que três itens precisam estar presentes para o aprendizado surgir com maior efeito: a operação e o processo não devem ser com o uso excessivo de máquinas que não envolvam o trabalho humano, para facilitar a aprendizagem; deve haver um número significativo de repetições das unidades a serem construídas e, por último, a gestão da construção deve criar um ambiente de trabalho estável.

A curva de aprendizado apresenta-se como uma ferramenta capaz de monitorar o desempenho de trabalhadores submetidos a tarefas repetitivas. Através das curvas é possível analisar e programar tarefas produtivas, reduzindo perdas decorrentes da inabilidade do trabalhador, as quais são verificadas principalmente nos primeiros ciclos de produção. A ferramenta também permite a adequada alocação de tarefas aos membros de uma população de trabalhadores, obedecendo suas características de atuação (ANZANELLO e FOGLIATTO, 2006).

Segundo Azanello e Fogliatto (2007), o estudo das curvas de aprendizado vem despertando interesse de setores industriais e acadêmicos nos últimos 80 anos. Neste período, este estudo foi utilizado nos mais diversos processos dos setores industriais e de serviços, o que levou ao desenvolvimento de um considerável conjunto de modelos de curvas. Entre suas principais utilizações, estão a programação da produção, a alocação de recursos produtivos, as estimativas de prazos de conclusão de tarefas e o monitoramento de custos associados à produção.

Karaoz e Albeni (2005) propuseram um modelo baseado em curvas de aprendizado e indicadores tecnológicos capaz de estimar o aprendizado dos trabalhadores durante longos períodos de operação em empresas turcas. Demeester e Qui (2005) propuseram um modelo de curva de aprendizado para cenários caracterizados pela produção simultânea de duas gerações de um mesmo produto (antigo e recente). A curva permite definir o modelo mais adequado para que todos os recursos de aprendizado (treinamento e incentivos aos trabalhadores, dentre outros) sejam direcionados integralmente para o novo modelo de produto.

2.2.4.1 Coeficiente de determinação da curva (R^2)

Segundo Devore (2006), o coeficiente de determinação, é interpretado como a proporção da variação de “y” observada que pode ser explicada pelo modelo de regressão estabelecido (atribuído a uma relação aproximada entre “y” e “x” pelo modelo estabelecido). Segundo o mesmo autor, quanto mais alto o valor de “ R^2 ”, mais o modelo de regressão pelo modelo estabelecido consegue explicar a variação de “y”.

Segundo Silva e Barros Filho (2000), o coeficiente de determinação pode variar de 0 a 1, e os valores são descritos da seguinte forma:

- 1,00: correlação positiva perfeita;
- 0,70 a 0,99: correlação positiva muito forte;
- 0,50 a 0,69: correlação positiva substancial;
- 0,30 a 0,49: correlação positiva moderada;
- 0,10 a 0,29: correlação positiva ínfima;
- 0,00: nenhuma correlação.

2.3 O PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, QUALIDADE E COMPETITIVIDADE

Segundo Limmer (1996), obras notáveis na época da idade da pedra são os templos de Stonehenge e as pirâmides do Egito, sendo que, desde os primórdios de sua existência, no período paleolítico, o homem tem uma relação com a pedra, que se tornou atávica. Dessas pirâmides, a de Quéops tinha um volume original de cerca de 2.521.000 m³, sendo formado por 2.300.000 blocos de arenito (cada um com peso médio de 2,9 toneladas cada), extraídos de pedreiras situadas na margem oposta do rio Nilo. Narrado por Heródoto (que lá esteve cerca de 450 a.C.), a mão de obra, composta por 100 mil escravos, cortava os blocos e os transportava em trenós e roletes de madeira sobre vias de pedra polida até ao pé da pirâmide em construção e daí, por meio de planos inclinados, até o local definido. Entretanto, não nos relata a História se neste caso da pirâmide houve projeto de Engenharia conceitual, básico ou mesmo detalhado para a execução. O que conta a História é que este empreendimento, datado de 2.500 a.C., levou 20 anos para ser construído. Conta também a História que, se o arquiteto do Faraó, a quem se destinava a pirâmide como tumba, não a terminasse antes da morte do

pontentado, então este arquiteto seria emparedado vivo dentro da pirâmide. É o único sinal de que havia uma preocupação relativa por parte de alguém, nesta época, com a duração da obra.

Segundo o mesmo autor, na construção das pirâmides, os recursos de mão-de-obra e materiais eram limitados, não havendo controle do que era consumido, conseqüentemente, deduz-se que também não havia planejamento na época. Já com relação a custo, segundo Marcus Vituvivus Pollio em seu “*De Architectura*”, escrito entre 33 e 14 a.C., o arquiteto e o mestre de obra eram responsáveis pelo cumprimento do orçamento que era estimado para cada obra. Infelizmente, nos dias de hoje, muitas obras de construção civil ainda são executadas desta forma: artesanalmente, ou seja, com um planejamento informal, sem garantia do cumprimento do prazo previamente estabelecido, e, muito menos, do orçamento.

Na atualidade, em tempos de acirramento da concorrência, prazos apertados e encarecimento da mão-de-obra, o planejamento ganha ainda mais importância para garantir obras produtivas, com qualidade, e entregues no prazo. Disseminado principalmente nas grandes e médias empresas, ainda falta, no entanto, alcançar um número maior de pequenas construtoras que usam esse benefício em busca de gestão como estratégia e controle. No entanto, este quadro tende a mudar. Com o crescimento do mercado e o aumento do número de obras, com adventos de programas do governo federal em parceria com a Caixa Econômica Federal, como o “Minha Casa Minha Vida”, em que o Estado subsidia um certo valor àqueles cidadãos interessados em adquirir seus imóveis, as pequenas construtoras já perceberam a importância do planejamento de obras (SANTOS, 2008).

Segundo Limmer (1996), tanto o planejamento como o controle de um projeto exigem o conhecimento deste o mais detalhado possível, e isto só pode ser alcançado por meio de análise dos elementos que o compõe, sendo, portanto, o primeiro passo para bem planeja-lo. Assim, o caminho mais simples e imediato é o da análise dos componentes do projeto, procedendo-se à sua partição a partir do todo, até atingir-se um componente de porte adequado ao planejamento e controle de sua materialização. Para tal análise, há que se agir de forma metódica, lançando-se mão, para isso, do princípio que foi estabelecido por René Descartes em 1637, em seu céebre Discurso sobre o Método para bem conduzir a própria razão e procurar a verdade nas ciências (Discours de la Méthode pour bien conduire as rasion et chercher la virité dans lês sciences).

Segundo o mesmo autor, na terceira parte do Discurso, Descartes expõe seu método de análise e de síntese para aquisição do conhecimento, sendo traduzido da seguinte forma:

Todo método consiste na *ordem* e *disposição* dos objetos, sobre os quais é preciso fazer *incidir* a penetração da inteligência para descobrir qualquer verdade. A ele permanecemos cuidadosamente fiéis se reduzirmos *gradualmente* as proposições

complicadas e obscuras a proposições mais simples e, em seguida, se, partindo da intuição das que são as mais simples de todas, tratamos de nos elevar pelos mesmos graus ao conhecimento de todas as outras”. (LIMMER, 1996).

Segundo SANTOS (2008), o planejamento inclui o plano diretor de toda obra (longo prazo), e também estudos de médio e curto prazo, focando as metas da equipe e programações diárias por pavimento. Engloba, também, o planejamento de contratações de mão-de-obra, de custos e orçamento. Com tudo isso equacionado e amarrado, as probabilidades de ocorrerem erros, retrabalhos, desperdícios e atrasos ficam reduzidas.

O planejamento é um instrumento de apoio à decisão, pelo qual permite a obtenção de soluções sempre mais eficientes. Como um orientador da produção, o planejamento define programas e os controla com eficiência. O planejamento na construção civil tem um caráter muito dinâmico, trabalhando com informações e diretrizes, definindo políticas e estratégias importantes. Associa-se o planejamento adequado à boa qualidade, produtividade e racionalização do processo construtivo (SANTOS, 1999).

O termo planejamento prévio expressa um determinado conceito no âmbito da construção civil, cuja definição somente pode ser dada através de uma contextualização do que sejam sua função e seus objetivos. A função do planejamento prévio é a de planejar os trabalhos da obra antes do seu início, de tal forma que sejam escolhidos os métodos construtivos e os meios de produção mais adequados e estes sejam ordenados entre si, considerando-se todo o quadro de condicionantes internos e externos à empresa. O objetivo desse planejamento é obter o maior rendimento possível com custos de execução os menores possíveis (GEHBAUER et al., 2002).

Segundo os mesmos autores, o planejamento prévio pode ser subdividido em diversas áreas que, embora diferenciadas, possuem uma estreita relação entre si. Tais áreas são:

- Planejamento dos métodos de execução: comparação e escolha dos métodos construtivos a serem usados, tendo como base a técnica empregada e os respectivos custos;
- Planejamento da obra: cronograma detalhado;
- Planejamento dos recursos operacionais e financeiros: mão-de-obra, materiais, máquinas e equipamento, em nível físico e financeiro;
- Planejamento do canteiro de obras.

Em resumo, pode-se dizer que a essência do planejamento prévio consiste em realizá-lo através de um método sistemático, levando-se em conta todos os requisitos definidos para o empreendimento (GEHBAUER et al., 2002).

Segundo Santos (2008), o que varia nas empresas é o grau de detalhamento do planejamento, que é maior naquelas que têm uma área de planejamento bem estruturada ou que terceirizam tal atividade. As demais, em geral, atribuem tal função à equipe de engenharia da obra, que, muitas vezes, não tem possibilidade de cobrir todas as minúcias.

De acordo com a mesma autora, a elaboração do planejamento não só é um meio eficaz para elaborar a produtividade e evitar perdas, mas também uma necessidade para sobrevivência das construtoras, pois a situação em que se vive atualmente é crítica: os processos construtivos são executados ainda de modo convencionais, os prazos de obras são cada vez menores, os engenheiros residentes cada vez mais jovens, sem falar da possibilidade iminente de escassez de material e mão-de-obra no mercado. Então, como garantir a entrega da obra no prazo, custo e qualidade desejados? Para isso, o planejamento deve ser cada vez mais antecipado, a fim de evitar paradas na obra, devido à falta de materiais, equipamentos e mão-de-obra.

Segundo Martucci (1990), considerando-se o projeto da produção, na etapa de elaboração da Política de Produção são definidos os padrões filosóficos da estrutura produtiva da empresa como um todo. Nesta fase se estabelece os princípios básicos da organização do trabalho; da política do controle de qualidade, custos, suprimentos; dos medidores de produtividade; de recursos humanos; de salários, etc., que serão introduzidos no processo produtivo e construtivo adotados.

Através do estudo tecnológico do sistema construtivo são analisados e conferidos todos os detalhes produtivos, construtivos e técnicos, fornecidos pelo projeto do produto. Nesta fase se verifica a compatibilização de projetos, estuda-se os detalhamentos, verifica-se os memoriais e especificações de técnicas, materiais e componentes. A análise aqui é feita sob a ótica da produção, corrigindo-se eventuais incompatibilidades, antes da fase de execução ou produção no canteiro de obras (MATOS, 2008).

O fluxo tecnológico mostra com qual seqüência técnica a obra pode ser executada, analisando-se as características tecnológicas do processo construtivo, no projeto do produto. O fluxo tecnológico está intimamente ligado à concepção do produto e, através dele, é possível detectar gargalos tecnológicos do produto “obra” (MARTUCCI, 1990).

A definição e caracterização dos processos de trabalho é a etapa mais importante do planejamento da produção, considerando-se o aspecto organizacional. Nesta etapa efetua-se a concepção final de todos os processos de trabalho da obra como um todo (ASSUMPÇÃO, 1998).

A trajetória da obra ou a estratégia de desenvolvimento produtivo da obra é a etapa de planejamento que define a seqüência e a velocidade de execução que se deseja ou que seja politicamente mais interessante ou que seja mais rentável (segundo interesses da empresa), baseado na disponibilidade de recursos e na ocorrência de fatores externos (MATOS, 2008).

A programação de obra é o elemento operacional do projeto da produção. Aqui se tem o estabelecimento de programas no nível de todos os processos produtivos de trabalho e no nível administrativo (suprimentos, alocação de máquinas e equipamentos, dimensionamento de mão-de-obra) (ASSUMPCÃO, 1998).

Uma programação sistemática de obras contribui significativamente para o sistema de informação da empresa. Considerando a semelhança no porte e características de obras, e tendo apropriado dados e índices reais de produtividade da mão-de-obra e de consumo de recursos pela empresa, permite-se usá-los objetivando conseguir maior requinte nas soluções e confiabilidade nos resultados, contribuindo na racionalização de tempos e recursos em âmbitos gerais (SCHMITT, 1993).

O nível de detalhamento da programação e planejamento deve ser compatível com as condições operacionais de controle. A programação gera uma base para o controle ou se tem de se adequar a ele. Ambos devem operar com as mesmas bases de medida (MATOS, 2008).

A programação de obras de construção civil tem como objetivo: "elaborar, de forma integrada e equilibrada, previsões de comportamento da obra ao longo do tempo no que se refere a custos, prazos e recursos, definindo os procedimentos pelos quais estas previsões podem ser obedecidas." (ASSUMPCÃO, 1988).

Segundo Mattos (2008), o planejamento de obra deve ser um processo contínuo. Começa com a delimitação do escopo, ou seja, com a definição do que realmente integra a obra. Parece lógico, mas não é. Em uma obra de estrada, por exemplo, o planejador pode se esquecer de incluir a recuperação de um talude, ou a melhoria de um acesso local, e isso trará interrupção lá na frente. Por isso, a melhor maneira de tratar o escopo é construir um EAP (Estrutura Analítica do Projeto), uma "árvore genealógica" da obra, em que cada nível os pacotes de trabalho vão sendo desdobrados em pacotes menores, até que se chegue a atividades simples, individualizadas, porém fáceis de serem mensuradas, delegadas e aferidas.

Feito isso, passa-se ao cálculo das durações das atividades, que, segundo o mesmo autor, é intuitivo notar a relação intrínseca entre duração e produtividade. Cabe então ao planejador investigar as produtividades usadas durante o orçamento da obra. Nessa etapa é preciso tomar cuidado, pois é muito comum que o planejamento traga premissas

completamente distintas das usadas no orçamento, o que abre uma brecha para o não-cumprimento do cronograma.

Ainda segundo Matos (2008), o passo seguinte é montar a seqüência executiva. As atividades vão sendo unidas para que o cronograma espelhe uma lógica construtiva coerente com o que vai ser feito no campo. Um erro corriqueiro é o planejador não envolver as equipes de campo e montar o cronograma com sua seqüência. Basta o pessoal de campo perceber que o planejamento não segue o que eles têm em mente, para deixarem de acreditar em cronograma e planejamento.

Ultimamente, tem-se também intensificado a preocupação com a gestão da informação. Para isso é essencial que as empresas invistam em tecnologias para gestão da informação de toda sua cadeia produtiva. Estas tecnologias devem ser capazes de filtrar, resumir, formatar, armazenar e capturar dados. Segundo Nascimento et al. (2000), a gestão da informação constitui uma atividade complexa que percorre diversos níveis, sendo manuseada por muitos usuários. Para estes autores, a informação apresenta-se sob a forma de fluxos contínuos, agregando valor aos processos empresariais e produtivos.

Segundo Schmitt (1993), a falta de informação na elaboração de documentos técnicos de projeto representa um grave problema na obtenção de maior produtividade e qualidade na construção civil. Quando um grande volume de informações circula entre os membros de um empreendimento, é fundamental que estas informações sejam precisas e relevantes (SOIBELMAN e CALDAS, 2001). Para Tzortzopoulos (1999), ao longo dos processos construtivos, muitas decisões essenciais não são tomadas adequadamente por falta de tempo ou por pressões do mercado. Para a mesma autora, estas decisões são tomadas sem considerar todas as informações necessárias, podendo gerar perdas como, por exemplo, retrabalho, indefinições do produto, consideração inadequada ou insuficiente das necessidades dos clientes no projeto ou desenvolvimento de um estudo econômica ou financeiramente inadequado. Por todos estes motivos, pode-se afirmar que a falta de tratamento dos fluxos de informações nos processos da construção pode levar a problemas patológicos na construção, atraso nos prazos, baixa produtividade e qualidade e aumento substancial nos custos.

Ultimamente, para se gerenciar um empreendimento, não é mais suficiente utilizar meios tradicionais, com os quais o gerente não tem controle satisfatório de todas as informações que fluem entre os agentes. Com isso, a utilização de sistemas de informações tem aumentado nos últimos anos, apesar da indústria da construção civil ter obtido menor retorno com este investimento em relação a outros setores (STEWART et al., 2002).

Ainda segundo Gehbauer et al. (2002), a rentabilidade do empreendimento, que é o objetivo final do planejamento prévio, resulta do fato que a redução nos custos de produção, obtida através da redução do tempo de execução, será sempre maior que os custos decorrentes do tempo gasto em planejamento (o tempo desperdiçado na fase de execução é mais caro que o tempo gasto com o planejamento prévio). Além disso, o planejamento prévio possibilita a disponibilização dos meios financeiros necessários, sejam estes próprios ou externos, no momento certo, o que conseqüentemente gerará custos menores. A grande importância do planejamento está no fato de servir de base para a gestão do controle da execução. Os prazos indicados no cronograma e os valores previstos no orçamento nesta etapa servirão como parâmetros de controle dos prazos e custos durante a fase de execução.

Para montar um orçamento, é necessário conhecer os coeficientes de produtividade da mão-de-obra, consumo de materiais e consumo horário de equipamentos utilizados para fazer os serviços desta obra. Com o aumento da competição do mercado, as diferenças de desempenho, que já eram uma marca do setor, tornaram-se ainda mais importantes de serem consideradas para garantir o sucesso das empresas. Enfim, a idéia de se adotar valores médios de produtividade para um serviço significa uma postura talvez simplificada demais ante as necessidades atuais de entendimento mais profundo das atividades de construção. Imagina-se que, para fins de orçamento, conhecer-se os limites, máximos e mínimos, dos desempenhos característicos de um serviço permitirá, quando considerado necessário pela empresa, um aprimoramento da estimativa dos recursos demandados pelo mesmo; além disso, o simples conhecimento da faixa de valores que caracteriza o mercado facilitará uma comparação com o conjunto das empresas concorrentes, subsidiando decisões de cunho mais estratégico por parte dos gestores (TCPO, 2003).

É conveniente, ainda, salientar que, além de permitir uma melhoria no processo de orçamentação, uma postura mais analítica pode ser bastante útil como subsídios para aprimoramento da programação (tanto no nível de cronogramas físicos de obras quanto na definição da constituição de equipes de trabalho para um determinado serviço), no controle da produtividade, na escolha de tecnologias e de formas de gestão, na política de remuneração dos funcionários e de subcontratados, dentre outros. Imagina-se, então, que a apresentação de conceitos de valores relativos à produtividade variável possa contribuir para, paulatinamente, ter-se um instrumento útil a diversas fases do empreendimento e indutor de uma maior integração entre as mesmas (TCPO, 2003).

Limmer (1996) diz que o contrato é o registro escrito de todos os detalhes que são acordados ao longo do julgamento e das negociações relativos à proposta vencedora, no caso

de uma licitação. Este contrato deve ser vazado em linguagem clara e objetiva, no que diz respeito aos processos técnicos dos serviços a executar como nos processos econômico-financeiros e jurídicos que define. Altamente desejável, porém nem sempre possível, é que, quando da elaboração deste contrato final, disponha-se de todos os projetos, memoriais descritivos e especificações emitidos para construção, principalmente quando o contrato for de preço global. Esta minuta final do contrato é preparada após minuciosa revisão de todos os documentos.

Segundo o mesmo autor, nos contratos de preço fixo é comum o instituto do prêmio e da multa, isto é, o construtor recebe um prêmio em dinheiro se conseguir reduzir custo e/ou prazo de execução da obra, sem causar prejuízo na qualidade, o qual cresce na razão direta, ou até exponencialmente, das reduções alcançadas. No caso de ser ultrapassado o custo ou o prazo de execução inicialmente fixados, o construtor é, então, penalizado com uma multa que, assim como o prêmio, varia em função dos valores que são atingidos.

Segundo Limmer (1996), a garantia contratual em uma obra de engenharia é o instrumento pelo qual é assegurado ao contratante o ressarcimento parcial ou total de prejuízos decorrentes da inadimplência do contratado ou do proponente. Esta garantia contratual pode ser prestada sob diferentes modalidades e formas, sendo usuais, nos contratos de construção, as modalidades a seguir:

- Caução: é a modalidade de garantia de manutenção da proposta, ou seja, se declarado vencedor, o proponente manterá as condições por ele definidas em sua proposta inicial;
- Retenção: modalidade que se destina ao pagamento de eventuais multas e/ou débitos que ocorram ao longo da execução do contrato, que eventualmente possam ocorrer;
- Multa: modalidade de garantia contratual em que se aplica uma penalidade de valor pecuniário ao contrato pelo descumprimento de obrigações contratuais por ele assumidas. Esta multa pode ser moratória (que se relaciona à demora no cumprimento de obrigações contratuais) e compensatória (pelo qual pré-fixa as compensações por perdas e danos das partes);
- Seguro: modalidade de garantia coberta por uma apólice emitida por uma entidade seguradora que é legalmente construída e autorizada a funcionar no país em que se estabelece o contrato.

A apólice funciona como um espelho de um contrato de seguro, no qual são especificadas condições de caráter geral, especial ou particular.

Segundo Limmer (1996), o planejamento é realizado obedecendo à sequência real a ser dada às atividades na execução da obra. Para isso, inicia-se com uma listagem tanto dos serviços a executar, e respectivas unidades e quantidades, listadas a partir da Estrutura Analítica de Projeto (EAP), como da equipe básica a ser utilizada na execução. Uma vez conhecida a produtividade de cada equipe que irá executar a obra, pode-se determinar o prazo de execução de cada atividade, dividindo-se a quantidade de serviço pela produtividade. Se este prazo for compatível com o prazo total da obra usual para o tipo de atividade, ele será mantido; caso contrário, aumenta-se o número de equipes para se chegar a essa compatibilidade. Então, entra aqui a experiência e competência do planejador em balancear os fatores “prazo de execução da atividade” e “número de equipes a empregar na execução desta atividade”.

A qualidade liga-se de forma íntima com quem executa as diferentes atividades que integram o produto. É conveniente dizer que ela é não só função da qualidade dos materiais componentes do produto, mas também (e em igual grau de importância), da mão-de-obra que o produz. A empresa construtora tem que ser competitiva no seu mercado de atuação: se não o for, logo será alijada. Para manter-se competitiva neste mercado, é preciso produzir mais e melhor, ou seja, é preciso racionalizar os processos de produção e aumentar a produtividade da mão-de-obra, além de reduzir ao mínimo as perdas e os desperdícios (LIMMER, 1996).

Jergeas (2008) define as mega obras de construção civil como sendo de enorme magnitude com acima de um bilhão de dólares de investimento, excluindo os custos de desenvolvimento gastos antes do projeto ser aprovado formalmente. Estes projetos são caracterizados por um grande número de interfaces, interdependências, complexidade e riscos, e alguns dos quais são estratégicas e devem ser gerenciados em um nível acima da equipe do projeto.

Lozon e Jergeas (2008) estudaram a aplicação das melhores práticas da engenharia e construção de grandes projetos realizando uma pesquisa com mais de 200 profissionais da indústria da construção civil, evidenciando quais práticas devem ser utilizadas, quando deverão ser utilizadas e qual o impacto que terá estas práticas sobre o resultado final. Duas práticas recomendadas pela maioria dos profissionais são construtibilidade e engenharia de custos. O estudo indicou que a complacência, financiamento constrangido e a relutância em investigar a construção de alternativas e estratégias de contratação pode reduzir o impacto dessas opiniões para o ponto onde elas podem aumentar o custo e também o cronograma de obra.

2.3.1 Produtividade, planejamento, tecnologia e tecnologia da informação

De acordo com Nascimento e Santos (2003), apesar das mudanças recentes e avanços no cenário do mercado mundial da indústria da construção civil, a mesma ainda exhibe, não só no Brasil mas também nos países desenvolvidos, um padrão relativamente atrasado no uso de modernas inovações proporcionadas pela tecnologia da informação e comunicação. Esta situação é paradoxal no sentido que o mesmo setor apresenta baixa produtividade e grande necessidade de aumento de sua eficiência e competitividade no mercado nacional para que o mesmo possa competir internacionalmente, áreas em que a T.I. (Tecnologia da Informação) normalmente tem enorme impacto, ao mesmo tempo em que o potencial para aplicação desta tecnologia é muito grande no setor.

Ao longo dos processos de manufatura na indústria da construção civil, é gerado um volume muito grande de informações que muitas vezes não são disponibilizadas oportunamente para tomadas de decisões. Devido a isso, há um grande potencial para o uso de planejamento e gerenciamento de maneira adequada destas informações. Os resultados de uma iniciativa que fosse capaz de agregar a T.I. de forma eficaz no cotidiano dos profissionais e das empresas de construção teriam um enorme impacto no setor devido principalmente a dois fatores: a fatia considerável que apresenta no PIB e a baixa produtividade no setor. As oportunidades para aumento da eficiência desta indústria pela aplicação desta tecnologia são relevantes, proporcionando impactos significativos no crescimento nacional, provavelmente até maior que na maioria dos demais setores (NEWTON, 1998).

Segundo Nascimento e Santos (2003), um campo que se desenvolve muito na área acadêmica e que precisa migrar mais rapidamente para a prática do setor de Engenharia Civil, principalmente para empresas construtoras, são aqueles de tecnologias mais avançadas, como a realidade virtual, CAD-4D, modelo integrado de edifício, entre outros. Segundo os mesmos autores, ainda, as principais tendências para a construção civil em termos de modernização e tecnologia são o gerenciamento de projetos baseada em modelos ao invés de documentos, ou seja, o uso de um modelo único, conceitual do produto e dos processos de um empreendimento, compartilhando todos os agentes envolvidos e implementado em diferentes aplicações, uso do conhecimento adquirido no passado para a construção dos novos empreendimentos, sendo este fator essencial e estratégico e requer o uso de sistemas para capturar e gerir o conhecimento. Além disso destaca-se também o uso intensificado de simulações e análises do tipo “e se...” para tarefas como medidas de produtividade, análise de riscos, alocação de recursos, planejamento da construção, entre outros. Ainda, a grande

tendência do uso da tecnologia da informação é de ter um grande impacto no setor, como vantagens competitivas diferenciadas para as empresas de construção (FORESE et al., 2001).

Novas tecnologias inovadoras estão sendo disponibilizadas em breve em ferramentas que modelam as informações e gerenciam os dados de um empreendimento, contribuindo fundamentalmente para a melhoria de tomadas de decisões e para a criação de novos conhecimentos, integrando todas as fases e compartilhando informações entre os agentes dos processos em todo ciclo (NASCIMENTO e SANTOS, 2003).

Segundo Badra (2008), desde a estabilização da economia, existe uma preocupação das construtoras em minimizar as perdas em todos os níveis. Para isso, qualquer ferramenta para controlar custos tem chamado a atenção dos executivos do setor. Mas, segundo este autor, a abrangência do planejamento deve ser mais ampla, começando pelos projetos, passando pelo levantamento de quantitativos, pela forma de se executar as obras (composições de preços unitários), compra de insumo programada, riscos administrados, controle de custos em sintonia com controles financeiros e tempos baseados na produtividade real das equipes nas obras. Estes conjuntos de ações resumidas em um diagrama definem um planejamento sustentável.

Segundo o mesmo autor, essas premissas são indispensáveis, pois todas as atividades-meio devem contribuir para que o produto da construção civil, a obra pronta, saia dentro das especificações técnicas e econômicas. Se as atividades-meio forem suficientes e eficientes, haverá melhoria de produtividade, competitividade e redução de perdas. Mas, será que só o departamento de planejamento é suficiente? Segundo este autor, o planejamento une os elos da cadeia de informações. Se os demais departamentos não estiverem afinados, o planejamento estará sempre emitindo cronogramas que serão mudados. A tendência atual é de informações possíveis e confiáveis que quase em tempo real, tanto dos projetos, como das condições física das obras, e das financeiras. Todos são “inputs” de planejamento. Passou-se a era dos cronogramas estáticos. Hoje, com o advento das ferramentas atuais de T.I, tem-se condições de elaborar cronogramas dinâmicos, com resultados, se não diários, com certeza, semanais.

As empresas de construção civil que constroem por meio do programa “Minha Casa, Minha Vida” ou do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) terão, em 2010, de ser certificados ou estar em processo de certificação no PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat) para ter acesso aos financiamentos. Esta nova exigência faz parte de um acordo firmado entre a CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção), a Caixa Econômica Federal e o Ministério das Cidades - que estabelece níveis

mínimos de certificação em relação ao porte das obras a contratar junto à Caixa. Conforme o acordo, as construtoras têm até dois anos de prazo para conquistar o nível máximo de certificação, que varia de “A” a “D”. Para isso, é preciso atender aos critérios do SIAC (Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil), do PBQP-H, que engloba uma sistemática de melhoria contínua nos procedimentos administrativos e de recursos humanos, entre outros, e nos processos de aquisição de suprimentos e operacionais da obra (PINIWEB, 2010).

De acordo com Piniweb (2010), dinamismo, precisão, senso crítico, capacidade analítica e de trabalhar sob pressão, experiência em canteiro, entre outras características, integram a lista de pré-requisitos atualmente demandados dos orçamentistas pelas empresas de construção. Esse altíssimo grau de exigência tem como pano de fundo uma crescente valorização da função para o planejamento das empresas do setor, aliada à maior complexidade dos projetos a serem orçados. Há um processo gradativo de reconhecimento do papel do orçamento das obras, que está deixando de ser apenas uma estimativa de custo-meta a alcançar para se tornar uma ferramenta eficiente de compras e contratações.

Atualmente já se sabe no mercado que um trabalho adequado de planejamento e orçamento, em conjunto com a gestão de compras, contratações e o acompanhamento e controle da obra, pode possibilitar uma economia da ordem de 2% a 5% às construtoras. Entretanto, o descaso com essas áreas pode acarretar um prejuízo superior a 10% do custo total real da obra para a empresa, a depender das condições e da forma como a construção será conduzida, custo este muito alto para ser considerado. Assim, este reconhecimento da importância da área culmina em uma demanda por planejamento e orçamentos mais bem detalhados e precisos. Tudo isso num momento em que os empreendimentos são mais complexos de serem orçados, pois o mercado exige mais qualificação técnica por parte do orçamentista e planejador. Por isso, despense-se mais tempo em pesquisas e estudos para finalizar estas etapas (PINIWEB, 2010).

Segundo Leite (2002), para a determinação dos prazos de execução dos serviços, muitas vezes são utilizados valores de produtividade que não correspondem à realidade. Muitas empresas usam um valor de produtividade do serviço observado no final de sua execução em outros empreendimentos, acarretando assim uma falsa idéia de prazo. Quando isso acontece, o serviço é executado fora do cronograma previsto inicialmente, ou então, a produtividade utilizada é superestimada, tendo sido coletada no início da atividade em alguma outra obra da mesma empresa, tornando assim o prazo previsto para a execução da tarefa longo, processos estes não adequadamente utilizados.

Para completar ainda o rol de novas demandas, há ainda a tendência de redução de prazos e aumento da quantidade de orçamentos a executar, pois a velocidade de execução dos orçamentos é muito maior. Por isso, é fundamental que o profissional seja qualificado, organizado, focado nos procedimentos e integrado aos demais setores da empresa. A tendência é a procura por profissionais que saibam trabalhar em grupo e sob pressão, interessados em progredir e que, de preferência, tenham experimentado o dia-a-dia de obra. Cursar ou ser formado em engenharia civil ou de produção, em tecnologia de edificações é um dos itens básicos demandados (PINIWEB, 2010).

2.4 PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS REPETITIVOS

Segundo Mendes Júnior (1999), a construção de edifícios de múltiplos pavimentos e de pavimento-tipo envolve muitas tarefas repetitivas, configurando o que se conhece por projetos de construção repetitivos ou lineares. Outros exemplos de projetos de construção lineares incluem projetos de construção habitacionais de residências ou apartamentos, túneis, estradas, obras de rede de água ou esgoto.

Segundo o mesmo autor, as unidades de construção repetitivas podem ser expressas, nestes casos, em termos de casas ou prédios, anéis, sessões, e, juntas, para edifícios altos, pelo qual teria-se os pavimentos ou apartamentos. Cada uma das unidades de repetição podem ser desmembradas em uma seqüência de processos que serão repetidos em cada unidade do projeto. Exemplificando, a seqüência de processos para a construção de um edifício de múltiplos pavimentos e de caráter repetitivo pode incluir o levantamento da estrutura, fechamento, revestimento das paredes, colocação das esquadrias e pintura.

A natureza repetitiva e a necessidade do aumento da produtividade de projetos de construção lineares em conjunto com ênfase na indústria da construção na padronização de processos e modularização de componentes ao longo dos últimos anos têm impulsionado o desenvolvimento de várias técnicas e estratégias de planejamento para estes tipos de projetos tanto a nível de macro (estratégico) como a nível de micro (operacional). No nível macro, os gerentes do empreendimento e engenheiros de planejamento estão principalmente interessados com a organização do projeto, seqüência de atividades e controle. No nível micro, os administradores de obra, engenheiros e mestres estão atentos aos passos necessários para completar as atividades que foram programadas para completar uma unidade (MENDES JÚNIOR, 1999).

Segundo o mesmo autor, as técnicas de programação para atividades repetitivas ou seqüenciais usam o conceito de curvas de produção ou linhas de fluxo. Curvas de produção para processos envolvendo a supra-estrutura e paredes de fechamento para um edifício de múltiplos pavimentos e repetitivos estão apresentados na Figura 8. A inclinação de cada linha de produção fornece o ritmo de produção para cada um dos processos repetitivos em termos de pavimentos por mês. As curvas de produção também fornecem as durações de cada processo repetitivo, assim como a duração total do projeto.

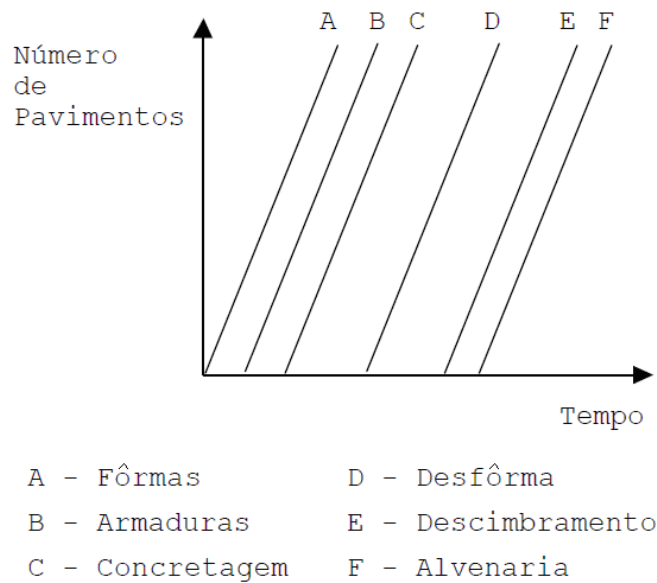


Figura 8 – Curvas de produção típicas para processos repetitivos.

Fonte: Mendes Júnior (1999).

Os projetos de construções de caráter repetitivo usualmente apresentam processos com diferentes ritmos de produção, sendo bastante comum nas construções de edifícios de múltiplos pavimentos. O desbalanceamento de ritmos de produção ocorre quando a curva de produção de um processo intercepta a curva de um ou mais processos posteriores por causa da diferença de inclinação e abertura no tempo (*buffer*) insuficiente entre as datas de início dos processos. Um exemplo deste fenômeno para os processos da Figura 9 pode ser observado que, por exemplo, o processo B inicia-se com um ritmo de produção mais rápido (maior inclinação) do que o processo A. Quando o processo B intercepta o processo A, em um determinado pavimento, o seu ritmo de produção deve ser alterado, como se observa na Figura 9, ou o processo é interrompido. Quando não existe continuidade de uma linha de

produção, caracterizado por uma quebra (mudança no ritmo), é sinal de desequilíbrio desta atividade (MENDES JÚNIOR, 1999).

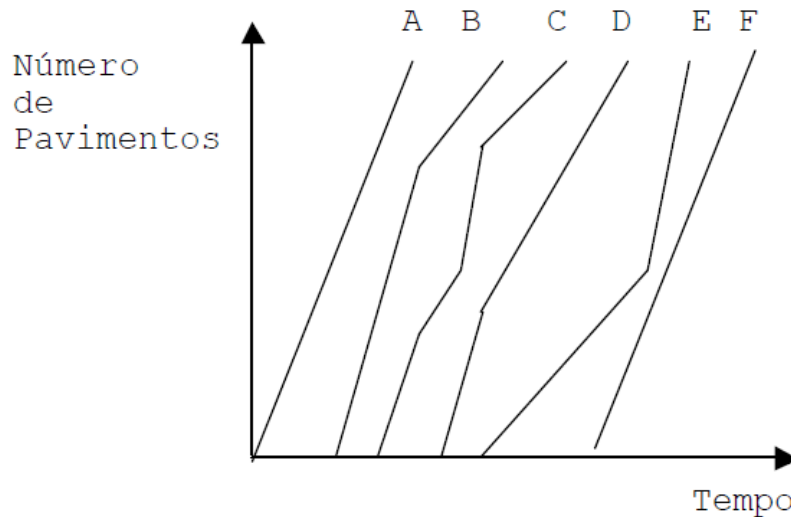


Figura 9 – Curvas de produção para processos repetitivos não balanceados.

Fonte: Mendes Júnior (1999).

Segundo o mesmo autor, este desequilíbrio ou desbalanceamento potencialmente pode afetar negativamente a performance do projeto causando paradas nas tarefas, utilização insuficiente das equipes e equipamentos e custos excessivos. A programação de atividades em projetos repetitivos procura balancear os ritmos de produção e, assim, utiliza melhor os recursos. Na construção de edifícios usualmente não se tem este balanceamento realizado por uma só vez. O que ocorre é a divisão do projeto em fases construtivas distintas (subsistemas), criando-se mais facilidade para o balanceamento dos ritmos.

O planejamento de projetos de construção de caráter repetitivo deveria ser executado em dois níveis: ao nível de projeto (estratégico) e a nível de processo. O planejamento a nível de projeto atenderia a questões como a duração do projeto, ritmos de produção das atividades repetitivas das diversas fases construtivas do projeto e fluxo financeiro, entre outras. O planejamento a nível de processo detalharia as questões da fabricação e produção de cada processo individual, a seqüência apropriada dos processos, e o ritmo de produção do sistema de processos como um todo (ou subsistema deste) em termos de unidades repetitivas deste por unidade de tempo (ARDITI, 1986).

Desta forma, segundo o mesmo autor, os quatro objetivos principais do planejamento e controle dos processos repetitivos são:

- garantir que unidades completas estejam prontas como requerido;
- manter os ritmos desejados de produção;

- balancear os recursos humanos e de equipamentos ao longo do projeto;
- atingir ao máximo a redução potencial de custos de unidades de construções repetitivas.

2.5 PRODUTIVIDADE

De acordo com Souza (2000), considera-se que a produtividade seja a eficiência da transformação de entradas em saídas em um processo produtivo. Dentro desta filosofia, conforme ilustrado pela Figura 10, o estudo da produtividade, no processo de produção de obras de engenharia civil, poderia ser feito sob diferentes abordagens. Deste modo, em função do tipo de entrada (recurso) a ser transformado, pode-se ter o estudo da produtividade com os seguintes pontos de vista: físico, no caso de se estudar a produtividade no uso dos materiais, equipamentos ou mão de obra; financeiro, quando a análise relaciona-se com a quantidade de dinheiro demandada; ou social, quando o esforço da sociedade como um todo é visto como recurso inicial do processo.

O estudo da produtividade da mão-de-obra é, assim, uma análise de produtividade física de um dos recursos utilizados no processo produtivo, qual seja, a mão-de-obra.

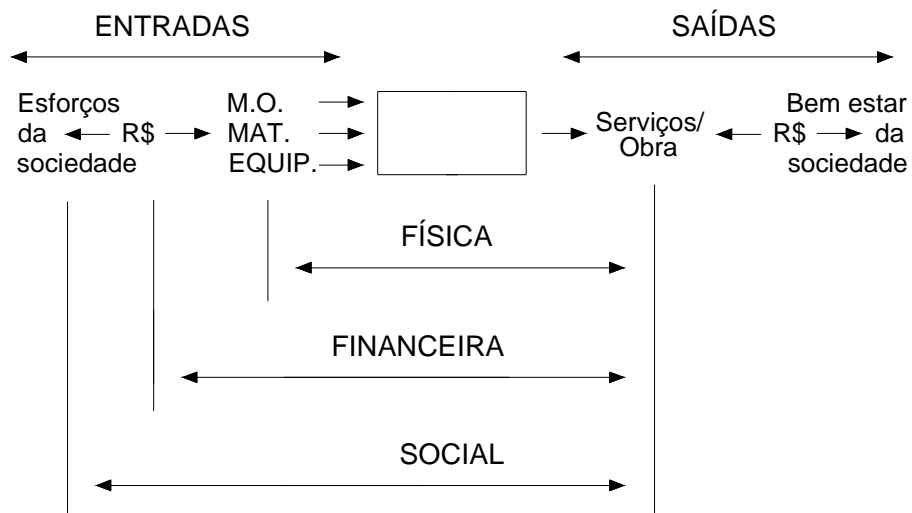


Figura 10 – Diferentes abrangências do estudo da produtividade.

Fonte: Souza (2000).

O termo produtividade tem significados diferentes para pessoas diferentes. Partindo-se do conceito proposto pelo Departamento de Comércio dos Estados Unidos para se definir o que se considera como produtividade na construção civil, tem-se que a produtividade é a razão entre dólares gerados e a força necessária para gerá-los (ADRIAN, 1987).

Kellogg et al. (1981) considera a produtividade na construção como a relação entre produto gerado por homem-hora. Levando-se em conta a definição de vários pesquisadores, a produtividade pode ser genericamente definida como uma relação entre saídas e entradas em um processo produtivo ou vice-versa. Subentende-se, então, que a produtividade significa a relação entre tudo o que entra em um determinado processo e tudo o que sai deste mesmo processo.

É possível particularizar o estudo da produtividade de acordo com a necessidade imposta. Sendo assim, no caso específico da construção civil, pode-se avaliar a produtividade dos vários recursos entendidos como “entradas” do processo, cujos principais exemplos são os materiais, os equipamentos e a mão-de-obra (SOUZA, 1996), como ilustrado na Figura 11.

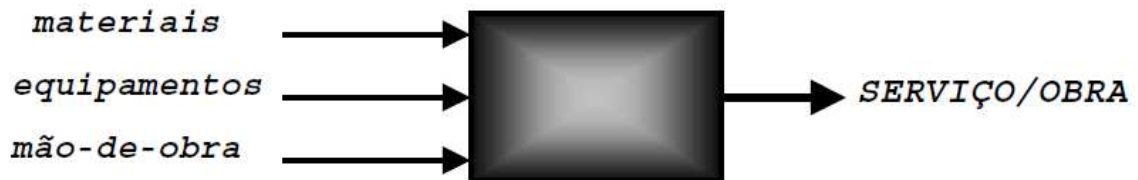


Figura 11 – Processo de transformação no sistema produtivo da construção civil.

Fonte: Souza (1996).

No caso da mão-de-obra, vale a pena citar que a metodologia aplicada em trabalhos brasileiros está sendo usada atualmente em pesquisas de âmbito internacional, na qual outros países estão estimando e procurando entender sua produtividade, o que permitirá futuras comparações entre desempenhos de diferentes países (TCPO, 2003).

No Canadá, a Productivity Alberta (2008) indicou que a produtividade na construção civil depende muito do desempenho dos trabalhadores na construção. A força de trabalho desempenha um papel vital no processo de construção. A melhoria da produtividade na construção civil deve ser atingindo através da alocação de recursos e maior eficiência dos recursos humanos, eficácia e compromisso e também maior inovação e difusão tecnológica. Segundo os mesmos autores, a melhoria da produtividade e inovação não é necessariamente cara, demorada ou demasiada difícil. No entanto, é necessário um compromisso de identificar áreas de melhoria, trabalhando para a melhoria constante e manutenção das melhorias ao longo do tempo.

Adugyei e Ruwanpura (2008) identificaram algumas das situações significativas que criam congestionamentos e que reduziu a produtividade dos recursos na área de trabalho na construção civil. Algumas das situações mais críticas identificadas foram o empilhamento de

negócios, o seqüenciamento de atividades indevidas e também excessivas no local, pré-fabricação e armazenamento excessivo de materiais no canteiro e também o planejamento inadequado das atividades no que diz respeito à circulação de recursos na área de trabalho com a progressão de trabalho.

A sexasésima sexta edição anual do livro RSMeans Building Construction Cost Data (2008) traz como fator que influencia a produtividade da mão-de-obra, no serviço de armação na estrutura de edifícios, o espaçamento entre as barras, pois quanto maior o espaçamento entre as peças, menor será o número de peças necessárias a serem utilizadas nas armaduras, e, conseqüentemente, menor será o número de horas demandadas pela mão-de-obra para executar a montagem.

Um projeto de pesquisa para desenvolver, testar e validar melhores práticas e ferramentas de trabalho e melhorar a produtividade de obras futuras de construção civil em Alberta, no Canadá, está em curso na Universidade de Calgary. O projeto de pesquisa é intitulado “As dez melhores metas para a melhoria da produtividade na construção civil” (TRCPM, 2009). A seguir estão as dez metas a serem investigadas:

- a) Trabalhadores motivados e altamente satisfeitos;
- b) Melhores práticas do modelo de supervisão;
- c) Melhor modelo de relação de trabalho entre o sub-empregado e o contratante principal;
- d) Melhor qualidade dos materiais, ferramentas e gestão de equipamentos mais eficiente;
- e) Adoção de ferramentas de otimização de tempo através da adoção de melhores práticas de trabalho;
- f) Otimização de práticas de trabalho e planejamento;
- g) Adoção de tecnologias de informação baseada em quadros de comunicação;
- h) Melhoria de integração entre gestão de obra e escritório.

2.5.1 Qualidade e produtividade

A construção civil é muito diferente da indústria da transformação, de onde nasceram e cresceram os conceitos e metodologias relativas à qualidade. Entretanto, nos últimos anos vêm sendo realizados muitos esforços no sentido de introduzir na construção a qualidade total, que já consta em outros setores. Devido a necessidade de aumentar a qualidade, foram realizados vários estudos sobre produtividade (MEKBEIAN et al., 1995).

Há uma série de maneiras de se conceituar produtividade na prática. A produtividade pode ser definida como a eficiência interna da organização ou outro objeto a ser medido. Uma definição mais precisa da produtividade é a seguinte: a produção total é a eficiência gerada pela entrada que é usado na transformação para gerar a saída num processo produtivo. A saída é constituída de produtos ou serviços e de entrada composto de materiais, trabalho, capital, energia, etc. A produtividade é afetada pela quantidade de entradas e saídas, mas também pelas qualidades de insumos e saídas (UUSI-RAUVA e HANNULA, 1996).

Existem vários métodos para medir a produtividade. No entanto, sua medição é normalmente vista como algo complicado (HANNULA, 1998). A maioria dos métodos são baseados em dados quantitativos sobre as operações. A produtividade total é relacionada a abordagem global da produtividade a nível da empresa. Produtividade total inclui todas as saídas geradas e todas as entradas usadas para gerar produção (trabalho, capital, materiais, energia etc.). Idealmente, o total de produtividade deve ser medido. No entanto, a medição do total de produtividade não é muito comum por ser muito difícil na prática. A maior parte das organizações tem uma grande variedade de produtos e insumos: é difícil de se converter isto em unidades comuns e retirar um valor único para os dois (HANNULA, 1999). Portanto, é mais fácil de medir a produtividade parcial do que produtividades totais.

O principal problema com as medidas parciais de produtividade é o efeito da substituição sobre as diferentes entradas de um processo de produção (UUSI-RAUVA, 1996; HANNULA, 1999). O mesmo método mais simples é usar a produtividade física de medidas. Estas são obtidas dividindo-se alguns típicos de saída (por exemplo, o número de clientes atendidos ou volume de produção do produto principal), por um insumo essencial (por exemplo, horas-máquinas de trabalho). No entanto, as vantagens e desvantagens da produtividade física de medidas são semelhantes às medidas de produtividade parcial.

2.5.2 A necessidade da determinação dos índices de produtividade na construção civil

A medição de indicadores constitui elemento imprescindível ao gerenciamento de obras. As medições de índices de produtividade e as análises dos seus crescimentos, demonstrados nas curvas de aprendizagem servem de instrumento de controle da produção, de elemento para avaliação de melhorias e de parâmetro para o planejamento de futuras obras (LEITE, 2002).

Segundo Lordsleem Júnior e Souza (1999), a partir de indicadores de produtividade da mão de obra no serviço de alvenaria de vedação, é possível realizar uma previsão do consumo da mão de obra, uma determinação da duração do serviço e uma análise de desempenho do pessoal envolvido com essa tarefa.

A produtividade, aliada à qualidade, torna-se fundamental para a sobrevivência das construtoras, exigindo do setor busca pelos melhores índices de desempenho, racionalizando e otimizando o uso de recursos físicos, financeiros e humanos. Neste sentido, a quantificação da produtividade, passo inicial de qualquer processo de gestão da produtividade, se apresenta como uma ferramenta imprescindível para a melhoria do processo, auxiliando as decisões gerenciais e facilitando a detecção de gargalos (MARUOKA e SOUZA, 1999).

Segundo Póvoas (1999), o estudo da produtividade oferece condições para melhorar a execução dos serviços, seja na racionalização do uso da mão de obra, dos materiais e dos equipamentos, como na organização do canteiro e na estrutura organizacional adotada. A influência da produtividade nos custos e prazos de uma obra é fator determinante na competitividade de uma empresa.

O setor de construção de edifícios se depara freqüentemente com um mau indicador de desempenho: os resultados obtidos não atendem o que é esperado. Este fato se dá tanto na execução de etapas de uma obra, individualmente, como no resultado global da mesma. As conseqüências disso se apresentam de diversas formas, como o aumento dos custos de execução, o não cumprimento das especificações, o não cumprimento de prazos e a perda de competitividade da empresa (LEÃO, 1997).

2.5.2.1 O melhor dimensionamento de recursos financeiros

De acordo com o relatório da ONU (1965), na maioria dos casos, o aumento da produtividade dos trabalhos, decorrente das repetições das operações de um edifício, é acompanhado por uma redução dos custos operacionais.

Segundo Silva apud Maruoka e Souza (1999), a produtividade está ligada intrinsecamente ao lucro. A empresa com alto índice de produtividade terá custos de produção mais baixos que seus concorrentes ou irá trabalhar com maiores margens de lucro.

Os efeitos econômicos da repetição das operações na construção resultam em dois importantes fatores: diminuição dos custos operacionais, devido a uma eficiente organização e execução dos trabalhos, melhorando a produtividade e aperfeiçoando os equipamentos e

economia do custo indireto, devido à redução de tempo de construção, alcançada pelo aumento da produtividade dos operários (ONU, 1965).

Fica mais fácil, então, determinar os preços de serviços em uma construção, sabendo-se o quanto a produtividade desse serviço irá aumentar com o passar do tempo, de acordo com a análise da sua curva de aprendizagem. O que acontece, geralmente, é que alguns serviços têm os seus preços ditados altos demais devido a uma baixa produtividade inicial, que foi a base para a determinação do valor a ser pago pelo serviço aos funcionários. Com o passar do tempo, o efeito aprendido torna esses serviços caros. Na construção civil, não se costuma baixar os preços já acertados previamente com os funcionários (pedreiros, carpinteiros, ferreiros e serventes). Ao final da atividade, os operários estarão ganhando bem além do valor médio estipulado para eles (LEITE, 2002).

2.5.2.2 A maior precisão na determinação dos prazos

Segundo Leite (2002), para a determinação dos prazos de execução dos serviços, muitas vezes são utilizados valores de produtividade que não correspondem à realidade. Às vezes se usa um valor de produtividade do serviço observado no final de sua execução em outros empreendimentos da empresa, acarretando assim uma falsa idéia de prazo. Quando isso acontece, o serviço é executado fora do cronograma previsto, ou então, a produtividade utilizada é superestimada, tendo sido coletada no início da atividade em alguma outra obra da mesma empresa, tornando assim o prazo previsto para a execução da tarefa longo.

2.5.2.3 Mensurando a produtividade

Aceita a definição proposta anteriormente, a forma mais simples de se medir a produtividade relaciona-se à quantificação da mão-de-obra necessária (expressa em homens-hora demandados) para se produzir uma unidade da saída em estudo (por exemplo, 1 metro quadrado de revestimento de argamassa para cerâmica de interior). O indicador utilizado, denominado razão unitária de produção (RUP) por este autor, é, pois, calculado por meio da Equação 4 (SOUZA, 2000).

$$\mathbf{RUP = Entradas/Saídas}$$

(Eq. 4)

Segundo o mesmo autor, para que se consiga uma uniformização no cálculo da RUP há que se definir, portanto, as regras para medição tanto de entradas quanto de saídas. Mais que isto, deve-se definir o período de tempo a que se refere o levantamento executado.

Referindo-se a entradas, o cálculo do número de homens-hora demandados é, genericamente, gerado da multiplicação do número de homens envolvidos pelo período de tempo de serviço. As saídas são consideradas de maneira bruta ou líquida. No que diz respeito ao período de estudo, pode-se estar lidando com a produtividade detectada para um determinado dia, assim como seu valor pode representar um estudo de longo tempo de duração. Faz-se, a seguir, uma exemplificação de diferentes formas que podem ser adotadas quanto a estes 4 aspectos (equipe considerada; tempo de serviço; mensuração das saídas; e período de estudo da produtividade) e que podem levar ao cálculo de valores totalmente diferentes de produtividade para um mesmo estudo (SOUZA, 2000).

2.5.2.3.1 Diferentes posturas para se medir a produtividade

Segundo Souza (2000), a partir da observação da produtividade na execução do serviço de alvenaria de vedação, a mesma pode ser considerada de várias maneiras diferentes. Embora seja feito uma definição bem clara sobre o indicador e produtividade a ser adotado (a RUP é dada pela divisão entre os homens-hora demandados e a área de alvenaria produzida), a não padronização sobre como se medir as entradas e saídas e sobre a equipe considerada, tempo de trabalho, quantificação das saídas e ao período ao qual se refere a RUP, pode gerar números extremamente diferentes ao se avaliar a mesma situação. Assim é que, em se tratando da mesma obra e serviço, a RUP pode variar significativamente em função da postura adotada, pois se pode fazer diferentes considerações quanto a equipe considerada, número de horas de trabalho, forma de avaliar a quantidade de serviço e duração da mensuração.

Segundo o mesmo autor, embora tal grau de divergência seja raramente encontrado nos resultados apresentados por diferentes pesquisadores quando estão falando de uma mesma obra, diferenças situadas, percentualmente, na casa das centenas não são difíceis de serem encontradas. É importante observar que, com tal taxa de variação quanto aos dados, torna-se completamente impossível se fazer avaliações quanto às causas que levam a um melhor ou pior desempenho de uma obra em relação à outra.

Dentro deste contexto, ressalta-se a importância de se ter a uniformização quanto à quantificação da RUP para que se possa progredir no entendimento da variação da

produtividade nos serviços de construção civil. Propõe-se, a seguir, algumas diretrizes para que isto aconteça (SOUZA, 2000):

- embora cada uma delas possa ser útil para um determinado fim, é necessário se distinguir se está lidando com a produtividade da equipe direta, da equipe direta mais a de apoio ou a global (incluindo o encarregado);
- preconiza-se, para o cálculo dos homens-hora, a adoção das horas disponíveis para o trabalho, que incluem *todo o tempo* onde os funcionários estariam à disposição para exercer suas atividades;
- acredita-se que a *quantidade líquida* de serviço seja o melhor estimador das saídas do processo produtivo (no caso da alvenaria, por exemplo, uma maior ou menor presença de vãos seria um fator, a explicar ou não, uma maior ou menor produtividade calculada com base na área líquida);
- é preciso, também, citar se os valores de produtividade apresentados dizem respeito a RUPs diárias (potencial, mínima ou máxima) ou cumulativas.

Finalmente, segundo o mesmo autor, ainda que não se queira seguir o proposto nesta rápida diretriz, é importante se conscientizar de que as diretrizes para a quantificação dos indicadores de produtividade devem ser sempre explicitadas, sob a pena, caso isto não aconteça, de se ter números que não permitem saber se o desempenho avaliado era ótimo ou extremamente indesejável.

2.6 A PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SEUS FATORES NO MUNDO INTERNACIONAL

De acordo com o estudo de Kellogg et al. (1981), uma análise sobre questões relacionadas a produtividade sugeriu que o problema deveria ser tratado como uma continuidade da concepção do projeto até a conclusão da obra, e não apenas no campo de fase da construção. Um modelo foi apresentado por este autor que revê uma hierarquia de produtividade em cinco níveis distintos: formação política, programa de gestão, planejamento e concepção, projeto de gestão e administração e construção de um plano de produção.

Segundo o mesmo autor, esta hierarquia foi testado por representantes de todas os componentes da indústria: proprietários, empreiteiros, seguradoras e banqueiros, gestores e engenheiros de planejamento. Por consenso foi percebido que o modelo expressa o problema da produtividade e foi um bom passo em direção à análise para conceituá-lo.

Thomas et al. (1986) pesquisou a curva de aprendizagem de modelos de produtividade na construção civil pelo qual cinco modelos matemáticos são identificados e cada um destes são usadas para modelar taxas unitárias de 65 conjuntos de dados. A correlação entre taxas unitárias planejada e real é determinada, e com base nisso, conclui-se que o melhor preditor é um modelo cúbico.

Segundo o mesmo autor, frequentemente o modelo em linha reta é apenas marginalmente adequada. A validade do modelo linear é ainda mais fragilizada, mostrando que a taxa “S” não é um valor constante.

Thomas e Yakoumis (1987) descrevem o fator modelo para avaliar a produtividade da mão-de-obra intensiva e atividades de construção. A teoria subjacente ao modelo é apresentada por estes autores, indicando que vários fatores podem causar perturbações ao desempenho da equipe. Se estas possam ser quantificadas a partir de dados reais de produtividade, uma fica com uma curva ideal produtividade, que podem ser usados para previsão de desempenho futuro.

Segundo os mesmos autores, métodos de recolha e de combinação de dados de vários projetos são apresentados e ilustrados com dados reais de produtividade comercial de três projetos de construção. A validação do fator modelo é demonstrado por considerar o efeito da temperatura e umidade relativa sobre a produtividade. Técnicas de regressão múltipla foram utilizados para explicar matematicamente aproximadamente 40% da variabilidade na produtividade diária dos dados. Outros parâmetros estatísticos foram também descritos. Os resultados do modelo são o clima, em comparação com relações semelhantes relatados por outros pesquisadores.

Segundo Olomolaiye (1990), antes de uma teoria da produtividade em construção civil, a motivação pode ser proposta. É imperativo que a relação entre a motivação e a produtividade é estabelecida. Este autor descreve investigações destinadas a estabelecer essa relação com especial referência para a mão de obra.

Segundo o mesmo autor, as investigações revelaram que existe um elemento de motivação em cada operário, independentemente do seu ambiente de trabalho e também confirma a teoria do século XIX de ótima motivação por Yerkes e Dodson. Não foi encontrada relação entre motivação e ritmo de trabalho, mas tem uma influência significativa sobre a proporção do tempo de trabalho que os operários gastam para produzir suas atividades.

Eldin (1990) descreveu o uso de uma câmera de vídeo para melhorar a produtividade em obras de construção civil. Sua pesquisa apresenta um passo a passo no processo de

utilização da câmara técnica para a implementação da produtividade para a melhoria no programa de produtividade. Um estudo de caso foi apresentado em que este sistema de câmara de vídeo foi utilizado como ferramenta de gestão para melhorar a produtividade do trabalho durante a construção de uma prisão estadual.

Segundo este autor, foram coletados dados de trabalhos selecionados considerados importantes. O uso de filmadoras resultou em benefícios palpáveis para o projeto em termos de melhoria da comunicação entre gestão e trabalho, identificando as razões para a produtividade e solução de problemas, fornecendo registros de atividades de construção para a formação, segurança, avaliação de desempenho e eventuais litígios.

Thabet (1994) descreve edifícios *Multistory*, que estão em uma categoria de projetos denominada linear ou projetos repetitivos, que envolvem atividades repetitivas consideráveis realizados consecutivamente pela mesma equipe. As técnicas e métodos de programação linear pesquisadas consideram principalmente limitações tecnológicas e os recursos necessários na geração de horários de trabalho repetitivo.

Segundo este autor, o método tradicional de produção convencional ignora exigências das atividades de trabalho, espaço necessário para o material de armazenamento e movimentação de recursos humanos e equipamentos. Ignorando tais exigências, aumentarão conflitos entre as diferentes profissões, o que gera uma diminuição da produtividade em obra, causando impacto inclusive na segurança, e podem prolongar projeto e a duração da obra.

Para reconhecer limitações de espaço de trabalho no processo de programação, estabelece-se a necessidade de identificar e avaliar os diferentes parâmetros que caracterizam este espaço. Uma vez que esses parâmetros são definidos, a programação de decisões pode ser formulada para gerar uma seqüência de atividades baseadas nestes parâmetros. Segundo esta análise, este autor descreve um modelo para definir e quantificar o trabalho e procura a disponibilidade de espaço de parâmetros para a construção de prédios de andares repetitivos em edifícios *Multistory*. A programação de procedimentos para aplicar estes parâmetros de seqüenciamento de trabalho repetitivo é feito em análise de espaços para o desenvolvimento das atividades (THABET, 1994).

A construção é um setor industrial de grande potencial no cenário político e econômico do Brasil. Caracterizada pela movimentação de um conjunto de atividades encadeadas no seu processo produtivo, a indústria da construção tem forte impacto no desenvolvimento do país, por sua capacidade de geração de empregos e sua participação de 14,8% do Produto Interno Bruto Brasileiro, quando se considera a cadeia completa do

Construbusiness (que engloba bens de capital, materiais de construção, mobiliário e serviços). (CONSTRUBUSINESS, 1999).

Segundo Park et al. (2005), a produtividade na construção civil tem sido uma objeto de grande preocupação e estudos, tanto em universidades, no mundo acadêmico, como na realidade em obras. Embora muitas empresas desenvolveram seus próprios sistemas de acompanhamento de produtividade com base em suas experiências e de sistemas de contabilidade, não foram bem sucedidos no estabelecimento de definições comuns para desenvolver uma ferramenta que recolhe dados padrão de produtividade in loco, aos níveis adequados.

Segundo os mesmos autores, realizou-se uma investigação para estabelecer um conjunto comum de produtividade na construção civil e as respectivas definições. Como resultado deste esforço de investigação, foi desenvolvido um sistema para medição da produtividade denominado *Construction Production Metrics System* (CPMs), que contém uma lista de contas, diretos e indiretos e 56 elementos de dados agrupados em sete grandes categorias.

A *Construction Production Metrics System* é um padrão de produtividade na construção e uma ferramenta de recolha de dados que fornece um quadro para o relatório da indústria às normas de referência de produtividade na construção civil. A entrada de 73 especialistas da indústria foi utilizado na determinação para se mensurar os elementos e as respectivas definições. Resultados preliminares da amostra inicial de 16 projetos industriais indicam que as medidas de produtividade podem ser produzidas e devem ser significativa para a construção da produtividade *benchmarking* (PARK et al., 2005).

Segundo os mesmos autores, devido ao pequeno tamanho da amostra, a conclusão preliminar seria inadequada. Com base nas análises, acredita-se que este sistema possa ser uma ferramenta razoável de recolha de dados na produtividade e quando estiverem disponíveis dados suficientes deveria ser capaz de produzir razoável indicadores de produtividade na indústria *benchmarks*.

Ainda, segundo Park et al. (2005), a produtividade na Construção Civil tem sido um motivo de grande preocupação, tanto na indústria da construção quanto da indústria propriamente dita e também na academia. Apesar de muitas empresas desenvolverem seus próprios sistemas de rastreamento de produtividade com base em suas experiências e os sistemas de contabilidade, nenhum foi bem sucedido em relação ao estabelecimento de definições comuns e desenvolvendo uma ferramenta de pesquisa que coleta dados de produtividade padrão nos níveis adequados.

Arcudia-Abad et al. (2007), desenvolveram uma tecnologia para aumentar a produtividade dos recursos humanos pró ativamente, em particular para a construção de habitação no Yucatán. O modelo teórico considera o efeito de cada um dos tipos de fatores: a entrada, as do processo e do contexto em torno do local onde o trabalho foi feito. O processo de consiste em duas fases principais: a criação de dados e análise de novos projetos.

Segundo os mesmos autores, na primeira fase, a atividade de construção seleciona e coleta de informações básicas sobre os indicadores dos fatores e indicadores de produtividade, incluindo o número de projetos para implementar a análise estatística. Na segunda, serviu de base capaz de lidar com casos novos em que é capaz de tomar decisões pró-ativas para modificar a produtividade. Para validar a tecnologia de construção analisou-se dois projetos de construção habitacional. Eles foram capazes de contrastar as diferenças nos resultados entre tomar e não tomar a decisão de agir pró ativamente. Os resultados de produtividade obtidos a partir dos dois projetos foram diferentes, sendo maior nos casos em que foi decidida a adotar um comportamento pró-ativo.

Han (2009) inventou um modelo de produtividade de tempos analisando aparelhos e utilizando um método de RFID baseado na comunicação sem fio. A invenção fornece um aparelho e método que possa fornecer um sistema de gestão sistemática de construção através da análise da produtividade real time e do monitoramento em tempo real para cada processo de domínio da construção e pode detectar um fator de redução de produtividade em tempo real, através da integração IT domínios como a tecnologia de comunicação sem fio e tecnologia de RFID, para que o próximo alvo da produtividade pode ser alcançado por um tratamento imediato.

Segundo o autor, o verdadeiro aparato de produtividade na construção no tempo analisando inclui: uma etiqueta RFID, incluindo um código de identificação para a identificação de cada equipamento de construção e anexada a cada equipamento, uma etiqueta de dispositivo de gerenciamento de dados para a leitura do código de identificação da etiqueta RFID, a fim de buscar um tempo de ciclo de cada equipamento em cada processo da obra, que integra o tempo de leitura e posição da etiqueta RFID e os dados do código de identificação do TAG-RFID, e transmitir os dados integrados; um servidor central para receber os dados de hora e posição e o código de identificação do TAG-RFID a partir do dispositivo de gerenciamento de dados e atualizar os dados em tempo real para monitorar a produtividade, além de gerenciar um banco de dados para armazenar os dados e os dados em tempo real de entrada do servidor central.

2.7 AMOSTRAGEM DO TRABALHO

Segundo Barnes (1977), uma empresa americana instalou um programa de medição de trabalho e controle de mão-de-obra para 140 de suas agências e estudou, pelo método de amostragem de trabalho, diversos departamentos da matriz. Segundo o mesmo autor, estudos de amostragem de trabalho de supervisores, desenhistas, engenheiros e técnicos têm sido realizados com sucesso. Uma grande empresa em expansão que constrói suas próprias fábricas e armazéns executa regularmente medidas de amostragem de trabalho das atividades de todo pessoal de construção, como soldadores, encanadores e carpinteiros.

É possível determinar, através da amostragem do trabalho, a porcentagem do dia em que uma pessoa trabalha, bem como o ritmo médio por ela mantido durante a sua atividade no dia. Por exemplo, suponha que um operário trabalhe 8 horas por dia como operador de uma furadeira. Um estudo de amostragem do trabalho poderia mostrar que ele esteve inativo 15% do dia ou 72 minutos ($480 \times 0,15 = 72$) e que trabalhou o restante do dia ou 408 minutos, com um índice médio de atividade de 110% (BARNES, 1977).

Informação	Fonte de dados	Dados para um dia
Tempo dispendido pelo operador (tempo trabalhado e inativo)	Cartões de ponto	480 min
Número de peças produzidas	Departamento de inspeção	420 peças
Tempo de trabalho em porcentagem	Amostragem do trabalho	85%
Tempo inativo, em porcentagem	Amostragem do trabalho	15%
Média dos índices de atividade	Amostragem do trabalho	110%
Tolerância total	Manual de estudo de tempos da empresa	15%

Quadro 02 – Determinação da amostragem do trabalho.

Fonte: Barnes, 1977.

Segundo Machado et al. (1996), a medição de produtividade por amostragem de trabalho é obtida segundo a técnica de observações instantâneas executadas no canteiro. Esta técnica consiste em fazer observações diretas sobre uma determinada atividade, registrando as operações constantes do ciclo de execução da atividade. As observações podem ser feitas

segundo intervalos de tempos aleatórios ou não. Visando sistematizar as observações, adota-se intervalos regulares de tempo entre elas (tempo de ciclo), disciplinando o trabalho do observador. Um estudo realizado por Davis (1955), mostra que, desde que a atividade em estudo seja ocasional, o que é o caso das atividades do processo construtivo na construção civil, existem evidências que os intervalos podem ser regulares sem que a significância da amostra se deteriore.

Para elaboração das planilhas de medição da produtividade por amostragem de trabalho, Machado et al. (1996) sugere percorrer as seguintes etapas:

- Determinar um padrão de execução do serviço, consultando bibliografia própria e/ou experiência anterior, acrescentando informações omitidas e eliminando aquelas consideradas desnecessárias. Este esquema serve de modelo para observação posterior da execução “in loco”;
- Classificar todas as operações reunidas neste padrão adotado de execução do serviço conforme suas particularidades, como produtivas, auxiliares e improdutivas. Após serem classificadas, estas operações devem receber números segundo os quais serão registradas suas ocorrências;
- Observar a execução do trabalho “in loco”, registrando todas as operações executadas pelo operário referentes a uma unidade completa do serviço, procurando usar na identificação destas a mesma nomenclatura praticada no canteiro de obras;
- Comparar as operações encontradas no canteiro, com o padrão pré-elaborado para a medição do serviço em estudo. Deve-se buscar, nesta etapa, a racionalização da quantidade de registros presentes na planilha de medição, através do argumento de operações semelhantes em ocorrências únicas. Recomenda-se, ainda, que a quantidade de operações agrupadas em cada classificação dos tempos (produtivos, auxiliares e improdutivos) não exceda 15 (quinze) para cada tempo. Assim, reduz-se a dificuldade do observador na identificação das operações.

Devido às fortes evidências de que o operário, ao notar a presença do observador responsável pela medição, altera sua maneira natural de trabalhar, recomenda-se que o trabalho de medição seja feito de forma discreta, imperceptível aos olhos do operário. No caso de percepção da presença do observador por parte do trabalhador, este deve ser conscientizado da importância do trabalho de medição executado, bem como da necessidade de manutenção de sua espontaneidade na execução das tarefas (MACHADO et al., 1996).

As ocorrências devem descrever o que o operário está fazendo no exato instante da observação. Desta forma, obtém-se, no final da medição, além da quantidade de ocorrências de cada operação, a ordem cronológica que ocorreram (MACHADO et al., 1996).

A técnica de observações instantâneas é encontrada na literatura com diferentes denominações: amostragem aleatória do trabalho, relação de esperas e *work sampling* (SANTOS, 1995). Trata-se da realização de observações aleatoriamente espaçadas durante determinado período de tempo, com o objetivo de se estimar as proporções de tempos empregados pelos operários na realização de determinado serviço, em geral classificados em produtivos, improdutivos e auxiliares.

Esta técnica, segundo Santos (1995), é bastante adequada ao ambiente da construção civil, pois a mesma é facilmente adaptável às peculiaridades como descontinuidade, baixa intensidade de alocação de recursos e variabilidade da produtividade.

Os dados são coletados de maneira simples, bastando haver um observador e uma planilha elaborada para o serviço a ser analisado contendo as atividades a serem observadas. Estas atividades são classificadas de maneira arbitrária (por exemplo, em produtivas, improdutivas e auxiliares) de modo que o observador, ao percorrer o canteiro em intervalos de tempo aleatórios, assinala que tipo de atividade cada operário está realizando no exato momento em que é visto. Calcula-se então o percentual de cada tipo de atividade com relação ao total de observações, resultando numa estimativa de como o tempo é utilizado na realização de um serviço (SANTOS, 2000).

O número de observações a serem realizadas é determinado previamente, de acordo com o nível de confiabilidade desejado e o erro relativo a ser considerado, utilizando teoria estatística. No caso da construção civil, é importante coletar um grande número de operações por dia como forma de obter a maior quantidade possível de informações e de detalhes (BRISLEY, 1970, apud SANTOS, 1995). Ainda assim, é possível realizar observações espaçadas durante semanas ou meses, sem que as variações ocasionais interfiram nos resultados.

Conhecendo-se os percentuais de tempos utilizados pela mão-de-obra, analisando-se adequadamente os resultados obtidos e adotando-se as medidas necessárias, é possível (LIBRELOTTO, 2000):

- minimizar os tempos improdutivos, ainda que não possam ser eliminados;
- rever o dimensionamento das equipes e prever o pronto atendimento dos serventes aos oficiais;
- planejar e organizar os fluxos de pessoas, materiais e equipamentos;

- reduzir os tempos de deslocamento dos operários a partir da instalação de banheiros volantes e bebedouros nos pavimentos;
- motivar os operários quanto ao maior rendimento do trabalho;
- promover a execução mais organizada dos serviços.

Apesar de todas as vantagens, há também algumas desvantagens relacionadas à aplicação da técnica de amostragem do trabalho em canteiros de obra. Por exemplo, em canteiros de obras muito grandes ou com atividades dispersas no canteiro, é necessário um maior número de observadores, o que implica no aumento do custo para sua realização (SCARDOELLI et al., 1994). Além disso, um estudo realizado em um grupo resulta em médias de valores, desconsiderando as diferenças individuais dos membros (BARNES, 1977).

Scardoelli et al. (1994) consideram problemático o fato de ser necessário que o observador julgue a classificação da atividade analisada. Isso porque podem surgir dúvidas nos momentos em que (SANTOS, 1995):

- está sendo executada uma atividade de classificação ambígua;
- há mudança da atividade do operário, cabendo ao observador escolher uma das duas para registrar;
- há confusão na definição de alguma atividade.
- além disso, caso o observador não esteja tecnicamente preparado para realizar as observações e os operários não estejam esclarecidos quanto ao estudo, podem ocorrer os seguintes problemas (HEINECK, 1983):
- o observador pode alterar as informações coletadas caso se sinta constrangido frente aos operários;
- em caso de dúvida, o observador pode tomar decisões pré-concebidas na alocação de atividades;
- os operários podem mudar de comportamento na presença do observador, invalidando a amostra.

No meio científico discute-se a eficiência e a importância da técnica de observações instantâneas. No presente tópico estão apresentados os resultados encontrados na literatura sobre medições de tempos utilizando a técnica de amostragem do trabalho.

Vargas (1996) apud Guerrini e Sacomano (2001) estudou a distribuição dos tempos em mais de 30 canteiros de diferentes regiões do país, cujo resultado encontra-se ilustrado na Figura 12. Os tempos produtivos se referem ao percentual de tempo em que se estava executando a obra. Os tempos improdutivos englobam os percentuais em que não se estava

trabalhando e se refazia o trabalho. Os auxiliares, por sua vez, correspondem às atividades realizando marcações e transportando materiais. Nota-se um elevado percentual de tempos improdutivo, em relação aos tempos auxiliares e produtivos.



Figura 12 – Resultado da quantificação da distribuição dos tempos de mais de 30 canteiros no país.

Fonte: Adaptado de Vargas apud Guerrini e Sacomano, (2001).

Por se tratar de um estudo global, compreendendo várias atividades realizadas em diversos canteiros, esses resultados devem ser analisados com cautela. Primeiramente, diferentes atividades podem não possuir a mesma distribuição de tempos. Além disso, uma mesma atividade pode apresentar distribuições de tempo variáveis, dependendo do número e do tamanho das equipes, bem como da tecnologia de construção empregada. Outro fato é que uma mesma equipe possui distribuições de tempo diferentes para os pedreiros e os serventes, por exemplo (CARVALHO et al., 2004).

A partir da literatura consultada, observou-se que as distribuições de tempo de atividades distintas podem ser diferentes. A Figura 13 contém um comparativo entre os resultados de medições realizadas pelos seguintes autores: Maués (1996), na unidade de armação de uma central de montagem de componentes; Costella et al. (2002), nas centrais de armação e de carpintaria de uma usina hidrelétrica de Goiás; Librelotto et al. (2000), que mediram as atividades estruturas e revestimentos de 12 empresas construtoras de Florianópolis.

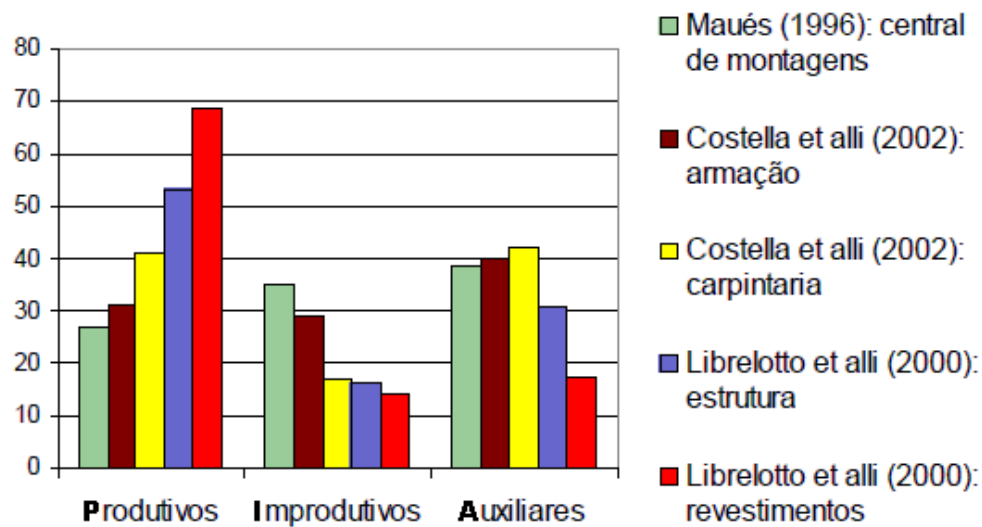


Figura 13 – Comparativo entre as medições de tempos realizadas por alguns autores.

Fonte: Carvalho et al. (2004).

Nota-se que, enquanto nos resultados de Librelotto et al. (2000) para estrutura e revestimentos há uma predominância dos tempos produtivos, nos encontrados por Costella et al. (2002) para a carpintaria a predominância está dividida entre os produtivos e os auxiliares.

Já para a armação de Costella et al. (2002) e na central de montagens de Maués (1996), existe uma certa proporcionalidade entre os três tipos de tempo. Essas diferenças são reflexo das considerações realizadas pelos pesquisadores quanto à classificação das tarefas. Também se deve ter em mente que as condições de trabalho (por exemplo, cargas físicas e distâncias percorridas) e o clima local podem influenciar nos resultados.

Também se verificou que, para um mesmo serviço, podem haver diferenças entre as medições de tempos. Para tanto, foram comparados os resultados encontrados por Librelotto et al. (2000), Scardoelli et al. (1994), Santos (1995) e Amorim (1998), que fizeram medições do serviço alvenaria, conforme ilustrado na Figura 14. Novamente, os resultados de Librelotto et al. (2000) possuem um elevado percentual de tempos produtivos. As distribuições de Scardoelli et al. (1994) e de Santos (1995) possuem certa semelhança. Já os dados de Amorim (1998) representam uma distribuição bem distinta dos demais autores.

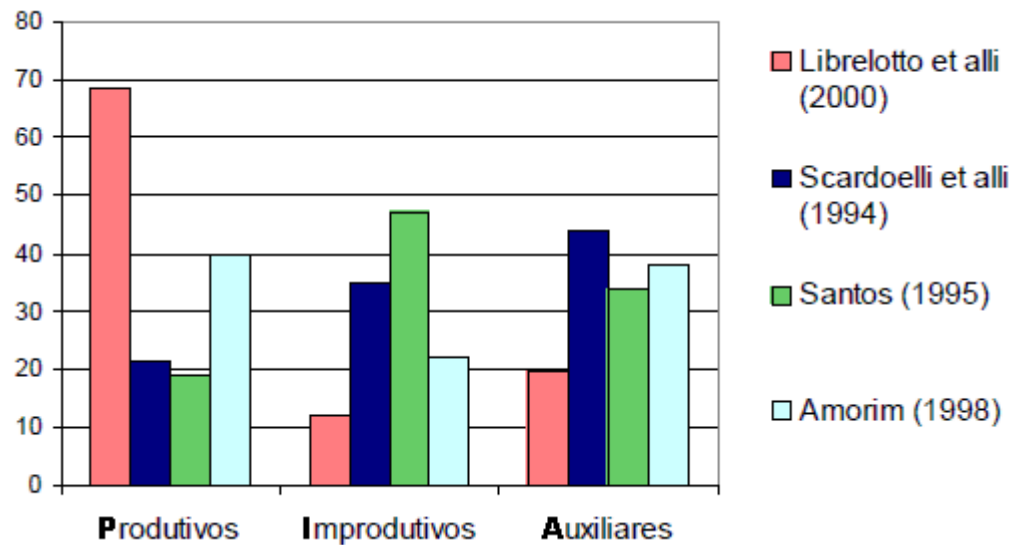


Figura 14 – Comparativo entre as medições do serviço de alvenaria.

Fonte: Carvalho et al. (2004).

Segundo Martins e Laugeni (2006), para se tornar os resultados encontrados confiáveis, deve-se fazer um número mínimo de observações de cada tarefa. A precisão da estimativa depende do número de observações e se pode estabelecer, de antemão, limites de precisão e níveis de confiança. Pode-se determinar o tamanho da amostra a partir do intervalo de confiança da média da distribuição binomial. Este tamanho da amostra, na prática, deve estar ao redor de 100 observações. Segundo os mesmos autores, o cálculo do tamanho da amostra obedece a Equação 5.

$$n = \left(\frac{Z}{Er} \right)^2 \times \frac{1 - P_i}{P_i}$$

(Eq. 5)

Onde:

Er = intervalo de variação de P_i (precisão ou erro relativo);

P = probabilidade (nível de confiança);

P_i = estimativa da porcentagem da atividade i ;

n = número de observações necessárias;

Z = coeficiente tirado da tabela de probabilidades para funções normais

3. METODOLOGIA

Inicialmente fez-se uma análise prévia da obra escolhida para verificação do seu caráter repetitivo, onde se verificou previamente, através de projetos iniciais e em contato com a empresa responsável pelo empreendimento, a confirmação da repetitividade dos pavimentos do edifício.

A obra em que foi feita a pesquisa é de uma construtora de grande porte, situada na região sul do Brasil, com obras em todo o território nacional, sendo que os dados foram coletados em um edifício de 20 pavimentos, sendo considerado neste estudo apenas a estrutura de concreto armado do edifício.

Os serviços que sofreram medições de produtividade foram: execução de fôrmas (incluindo montagem e desfôrma apenas), escoramento, montagem de armaduras e concretagem. O edifício em questão é destinado a fins residenciais, e seu projeto é composto de dois subsolos para garagens, pavimento térreo para estacionamento, primeiro pavimento para área de recreação, lazer, piscina, quiosques, churrasqueiras, sala de jogos, sala de ginástica e quadra poliesportiva) e 18 pavimentos tipo (composto por 4 apartamentos por andar) e pavimento de cobertura. A pesquisa se concentrou nos pavimentos tipo, com área de 648,77 m² cada. A estrutura era composta de lajes pré-moldadas, sempre retangulares, pilares e vigas comuns, todas locadas em dois eixos perpendiculares, uso de fôrmas e escoras mistas (de madeira e de metal). Além disso, apresentava condições de organização do canteiro adequadas.

Desta forma, este estudo de caso baseou-se na coleta de dados de produtividade (quantidade de homens-hora) para a execução da estrutura do edifício pesquisado, analisando-se por pavimentos independentes, procurando-se modelar os dados através da curva de aprendizagem estabelecido na literatura sobre o assunto na construção civil, para a estrutura do edifício (que foi subdividida em fôrmas, armaduras, concretagem, desfôrma e escoramento). Além disso, fez-se coleta de dados de amostragem de trabalho, que foi realizada através da observação instantânea, permitindo se fazer observações diretas sobre uma determinada atividade, registrando-se as operações executadas no instante da observação em tempos aleatórios, realizadas segundo Machado et al. (1996). A seguir será descrito detalhadamente o método empregado nesta pesquisa para a determinação dos gráficos do efeito aprendizagem e também para a determinação da amostragem de trabalho por pavimento.

A planta de fôrmas dos pavimentos pode ser observada na Figura 15.

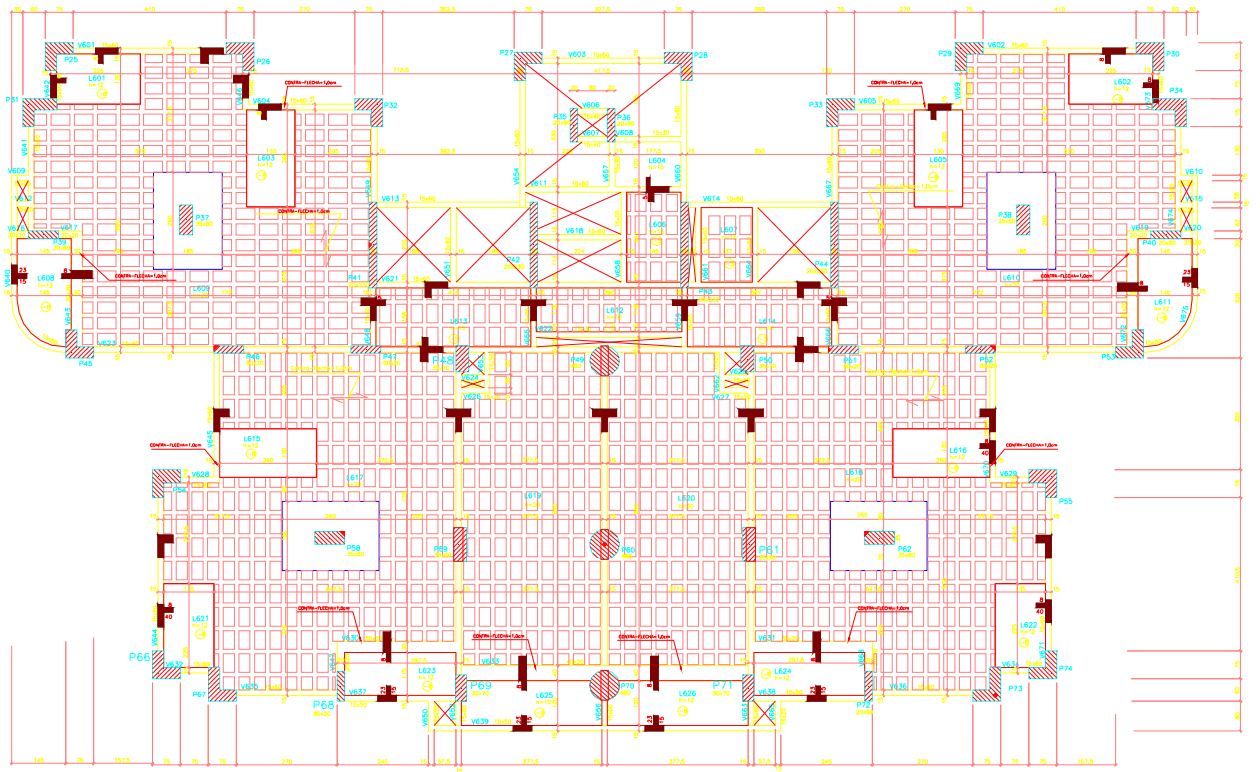


Figura 15 – Planta de fôrma da estrutura dos pavimentos estudados.

Apresenta-se, de acordo com a Figura 16, o cronograma executado da estrutura do edifício.

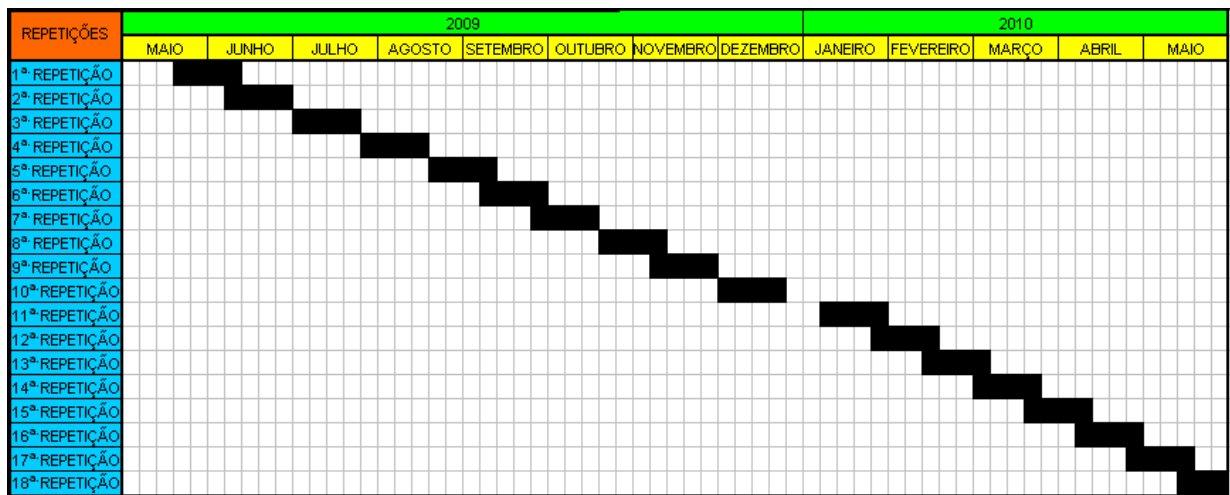


Figura 16 – Cronograma executado da estrutura do edifício.

Percebe-se, na observação deste cronograma executado da estrutura do edifício, que o tempo de execução dos pavimentos permanece relativamente constante. Uma observação importante a ser feita é que a escala deste cronograma é semanal (e não diária), induzindo a

acreditar que o tempo da execução de todos os pavimentos é são constante, quando na verdade obtém-se uma diminuição do tempo por execução de pavimento à medida que o edifício é executado. Outro fator importante é que as equipes foram pouco alteradas ao longo do processo, efeito fundamental para que possa vir a ocorrer o efeito aprendizagem.

3.1. METODOLOGIA ADOTADA PARA ANÁLISE DO EFEITO APRENDIZAGEM

Buscou-se caracterizar o comportamento quanto ao aumento de produtividade pela modelagem por curvas clássicas, apresentadas na literatura sobre este assunto na construção civil, de acordo com a produtividade da equipe em questão observada pela construtora em que foi realizada a pesquisa. Após a escolha dos serviços que seriam coletados quanto à produtividade, que nesta pesquisa foi toda a parte da estrutura do edifício (armaduras, fôrmas, concretagem, desfôrmas e escoras, incluindo pilares, vigas e lajes), foi desenvolvida uma planilha específica para coleta de dados, que se encontra no Anexo A. Esta planilha contém a identificação dos serviços, a quantidade executada, tempo em homem-hora (Hh) gastos para a execução da mesma, data e dia da semana e um campo reservado para anotações de ocorrências especiais.

É importante descrever, aqui, as diretrizes utilizadas para a quantificação dos indicadores de produtividade, que sempre devem ser explicitadas detalhadamente, sob a pena, caso isto não aconteça, de se ter dados e números que não permitem saber se o desempenho avaliado era ótimo ou extremamente indesejável.

Quanto à metodologia empregada para a coleta da produtividade da mão-de-obra em homens-hora das atividades, adotou-se o método de coleta global (que inclui todos os operários que efetivamente estavam envolvidos na atividade, não importando se eram serventes, pedreiros, carpinteiros, armadores, entre outros). Além disso, preconizou-se, para o cálculo dos homens-hora, a adoção das horas disponíveis para o trabalho, que incluiu todo o tempo onde os funcionários estariam à disposição para exercer suas atividades; exceto quando chovia. É importante ainda citar que, quando chovia, a atividade de desfôrma era realizada normalmente sem afetar a produção da mesma, visto que esta atividade era desenvolvida no pavimento anterior ao que estava sendo executado, e a laje servia como cobertura.

Não foi quantificado o tempo útil e realmente produzido pela mão-de-obra, descontando ociosidades ocorridas ao longo da jornada de trabalho como, por exemplo, a quebra de um equipamento, visto que problemas como estes citados são normais e

corriqueiros em obras de construção civil, e, sem considerar tais itens de modo exagerado, todas as obras com o mesmo sistema construtivo apresentam tais problemas.

Os dados apresentados foram analisados através de gráficos e regressões obtidas com o *software* Excel 2007. Configurou-se, então, os dados coletados por meio da planilha de campo com a quantidade de homens-hora consumido para as atividades nos pavimentos. A partir destes dados elaborou-se também um banco de dados para a estrutura global do edifício (toda a estrutura). Desenvolveu-se também um fator redutor para esta atividade, a partir do primeiro pavimento, considerando-se fator unitário para o primeiro pavimento. Além disso, procurou-se estabelecer gráficos do efeito aprendizagem, bem como suas respectivas equações para as diversas possibilidades de análises e também do fator R^2 .

Conhecendo o comportamento da produtividade ao longo do processo, procurou-se estabelecer um comparativo entre um planejamento tradicional, sem considerar o efeito aprendizagem, e um planejamento estratégico, considerando-se o efeito aprendizagem, observando a redução do número de homens-hora por pavimento. Elaborou-se também um gráfico de intervalos com 95% de confiança de a produtividade estar abaixo e acima da média observada para os pavimentos, para um planejamento futuro de uma obra idêntica, objetivando-se a elaboração de um planejamento mais preciso e mais próximo da realidade.

3.2. METODOLOGIA ADOTADA PARA ANÁLISE DA AMOSTRAGEM DO TRABALHO

Realizou-se, também a determinação da amostragem de trabalho para os pavimentos, através de observações instantâneas em horários aleatórios, conforme descrito por Barnes (1977), coletando-se os dados segundo atividade e tempos de trabalho como produtivo, improdutivo e auxiliar, para os funcionários envolvidos na estrutura do empreendimento, dividindo-se por categoria (pedreiros, carpinteiros, armadores e serventes) e também fazendo-se uma análise global de todos os trabalhadores envolvidos.

A coleta de dados foi realizada uma vez por semana para as categorias citadas de trabalhadores em um total de 5 (cinco) observações para cada categoria, sendo a observação coletada sempre para os mesmos trabalhadores. Quando se constatou que um trabalhador escolhido para a coleta de dados estava ausente naquele dia, adotou-se por padrão desta pesquisa realizar uma coleta de dados novamente no dia posterior e, se caso o mesmo estivesse ausente neste mesmo dia, a coleta era realizada no dia seguinte e assim sucessivamente, para que os itens coletados fossem sempre produtivos, improdutivos e

auxiliares. Ressalta-se que a coleta foi baseada para trabalhos envolvidos com a estrutura do edifício, apenas, e no pavimento que estava sendo executado. A consideração sobre os tempos de trabalho foi abordada de acordo com as seguintes características:

- produtivos: atividades de montagem (fôrmas/armaduras/escoras), desfôrma e concretagem;
- improdutivos: necessidades fisiológicas, paradas sem justificativas, refeições fora de horário, falta de material, paradas devido à chuva e deslocamentos;
- auxiliares: preparação da área de trabalho, montagem de andaimes, preparação do material a ser empregado, consultas em projetos, conversas com mestre-de-obras e colegas para receber instruções, transporte de material, busca de ferramentas, limpeza do local de trabalho e de ferramentas.

Para se determinar o número mínimo de observações necessárias para a amostragem do trabalho, foi utilizada a Equação 5 citada na revisão bibliográfica, conforme Martins e Laugeni (2004), inclusive com os mesmos coeficientes que estes autores utilizaram em suas pesquisas, onde se adotou probabilidade de 90%, e portanto o valor de Z foi de 1,65, adotou-se também uma porcentagem de 85% do tempo trabalhado como sendo verdadeira e um erro relativo máximo de 10%, onde se chega ao número de observações.

$$n = \left(\frac{Z}{Er} \right)^2 \times \frac{1 - P_i}{P_i} = \left(\frac{1,65}{0,10} \right)^2 \times \frac{1 - 0,85}{0,85} = 48$$

Nota-se que o valor encontrado foi de 48 observações, contudo os autores supracitados aconselham a utilizar no mínimo 100 observações. Desta forma para não se ter dúvida estatística sobre os resultados encontrados, fez-se 300 observações de forma geral para cada atividade (pedreiro, carpinteiro, armador, servente). A planilha de coleta de dados sobre os tempos pode ser encontrada no Anexo B.

3.3 METODOLOGIA PARA REALIZAR A CO-RELAÇÃO ENTRE EFEITO APRENDIZAGEM E AMOSTRAGEM DO TRABALHO POR PAVIMENTO

Procurou-se também relacionar os dados sobre amostragem de trabalho por pavimento, correlacionando-se, de certa forma, com os gráficos de efeito aprendizagem do edifício. Para isto, elaborou-se uma equação da mesma forma que o efeito aprendizagem, ou seja, da forma $Y_x = A \cdot X^{-n}$ para os tempos produtivos, improdutivos e auxiliares para se obter uma visualização mais precisa sobre o comportamento da produtividade ao longo do processo

na amostragem do trabalho e também para se verificar se há alguma relação com o efeito aprendizagem e no que estabelece a literatura sobre o assunto.

3.4 METODOLOGIA PARA APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a coleta de dados, elaborou-se o gráfico do efeito aprendizagem de Hh/unidade do serviço, que se refere ao gráfico onde se pode visualizar a redução do consumo de homem hora por unidade de serviço ao longo do processo, e também se elaborou o Gráfico do efeito aprendizagem de Hh/m², que se refere ao gráfico onde se pode visualizar a redução do consumo de homem hora por m² (área do pavimento) ao longo do processo.

Após esta etapa, elaborou-se o gráfico do efeito aprendizagem de Hh/m² médio até a repetição, pelo qual se refere ao gráfico onde se pode visualizar a redução da média acumulada do consumo de homem hora por m² (área do pavimento) ao longo do processo.

E, por fim, calculou-se a taxa “S”, que se refere a porcentagem do esforço médio (em número de homem hora) quando se dobra o lote de produção, em relação ao lote anterior, segundo Oliveira et al. (1998).

Para melhor entendimento dos resultados que serão apresentados no próximo capítulo é necessário que se conheça as seguintes variáveis/siglas:

- a) Hh consumido: número de homem-hora consumido para a atividade no respectivo pavimento;
- b) Hh médio até a repetição: média acumulada do número de homens hora, até o referido pavimento;
- c) Hh/unidade do serviço – quantidade de homem hora por unidade do serviço (entende-se por unidade do serviço: m² de fôrmas, m² do pavimento no caso de escoras, kg de aço, m³ de concreto e m² do pavimento no caso de desfôrma);
- d) Hh/unidade do serviço médio até a repetição: média acumulada do número de homens hora por unidade do serviço, até o referido pavimento;
- e) Hh/m² – número de homem hora por m² (área do pavimento);
- f) Hh/m² médio até a repetição - média acumulada do número de homens hora por m² (área do pavimento), até o referido pavimento.
- g) Fator redutor (Hh/unidade do serviço) – refere-se ao fator de redução do número de homem hora por unidade do serviço, sempre em relação à 1^a repetição, e considerando-se a 1^a repetição com valor unitário;

- h) Fator redutor médio até a repetição (Hh/unidade do serviço): média acumulada do fator redutor anteriormente citado, até o referido pavimento;
- i) Fator redutor (Hh/m^2) - refere-se ao fator de redução do número de homem hora por m^2 (área do pavimento), sempre em relação à 1ª repetição, e considerando-se a 1ª repetição com valor unitário;
- j) Fator redutor médio até a repetição (Hh/m^2): média acumulada do fator redutor anteriormente citado, até o referido pavimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 O ESTUDO DE CASO

Tão importante quanto descrever os métodos e diretrizes utilizadas para a quantificação dos indicadores de produtividade (as regras estabelecidas para a coleta de dados), também deve ser descrito, da mesma forma, o sistema construtivo, métodos e processos que a empresa adotou para a construção, que sempre deve ser explicitado detalhadamente, sob a pena, caso isto não aconteça, de se ter dados e números que não permitem saber se o desempenho avaliado foi bom ou ruim.

4.1.1 Forma e técnicas de execução adotada pela empresa

É importante descrever, aqui, as diretrizes utilizadas pela empresa quanto ao sistema construtivo adotado, bem como os métodos utilizados e controles adotados pela mesma, para que esta pesquisa possa servir de base para o planejamento de obras futuras com métodos e sistemas construtivos iguais ou semelhantes às características aqui descritas.

A política adotada de tempo de trabalho da empresa em que foi realizada esta pesquisa é de 9 horas de segunda a quinta (das 7:30 horas às 12:00 horas e das 13:00 horas às 17:30 horas) e 8 horas na sexta-feira (das 7:30 horas às 12:00 horas e das 13:00 horas às 16:30 horas), e, eventualmente, trabalhou-se no sábado, quando o cronograma da obra estava atrasado, procurando-se adiantar os serviços para adequação ao cronograma planejado. Além disso, os funcionários recebiam prêmios por produção (um adicional de R\$ 80,00 a R\$ 100,00 por mês por meta – que foi a execução de 2 pavimentos por mês, relacionado à parte da estrutura do edifício).

Em toda estrutura, adotou-se concreto usinado e bombeado com $f_{ck} = 30$ MPa, para os pavimentos no processo de concretagem. O cálculo do projeto estrutural, adotou módulo de elasticidade de 30.672 MPa, classe de agressividade II, relação água/cimento máxima de 0,60 e concreto de baixa retração, cobrimentos nominais mínimos de 2,0 cm para lajes e 2,5 cm para pilares e vigas, com uso de espaçadores. O “slump-test” foi realizado pela própria empresa construtora e estabelecido em 12 ± 1 cm. Utilizou-se, também uma grua que servia de base para o transporte de materiais (basicamente armaduras, fôrmas e concreto). Apesar desta grua fazer parte do processo, não foi contabilizado a produtividade de homens-hora para manutenção da mesma. O transporte de concreto para os pilares foi realizado com ajuda da

grua e feito pelo sistema de caçamba para elevação de cargas, com capacidade de 350 litros, conforme pode ser observado na Figuras 17 e 18, sendo posteriormente vibrado com equipamento de vibração, com diâmetro de 25 mm para os pilares e 35 mm para lajes e vigas.



Figura 17 – Ajuda da grua para concretagem de pilares, que foi realizada com o sistema de caçamba para elevação de cargas.



Figura 18 – Concretagem de pilares executada com o sistema de caçamba.

O sistema de fôrmas e escoramentos adotado pela empresa foi misto (parte em madeira e parte em metálica), sendo que as fôrmas de madeiras foram reaproveitadas aproximadamente 7 vezes (em 7 pavimentos), e após isto eram reformadas para serem novamente reaproveitadas, e as fôrmas metálicas foram reaproveitadas em todo o processo

construtivo, visto que as dimensões das vigas e pilares não se alteravam ao longo dos pavimentos. As fôrmas mistas podem ser observadas nas Figuras 19, 20, 21 e 22.



Figura 19 – Fôrma de pilar em madeira.



Figura 20 – Fôrma de pilar em metálica.



Figura 21 – Sistemas de escoramento misto (em madeira e em metálica).



Figuras 22 – Sistemas de escoramento misto (em madeira e em metálica).

Após ser concretada a laje, a mesma foi regularizada e alisada com uma máquina niveladora, conforme pode ser observado na Figura 23.



Figura 23 – Máquina niveladora da laje após concretagem.

A fabricação das fôrmas não foi considerada no estudo. As armaduras eram cortadas, dobradas e pré-montadas em centrais de produção, e após realizada a montagem final nas fôrmas na obra. O concreto foi produzido em centrais, cabendo aos operários o transporte interno, lançamento e adensamento. A empresa construtora manteve um sistema executivo onde as equipes montadas para executar a estrutura realizavam todas as tarefas em conjunto, ou seja, a equipe se envolvia na montagem das formas, montagem de armaduras, concretagens, desfôrmas e demais serviços envolvidos na execução da estrutura. As quantidades físicas de fôrmas e concreto basicamente foram mantidas nos pavimentos estudados, sofrendo uma mudança leve, a partir do 7º pavimento, pois foi mudada a seção de somente 4 pilares e vigas. A configuração da armadura também sofreu uma leve alteração a partir do 7º pavimento, porém o peso total de aço foi mantido.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO OBTIDOS DA ANÁLISE DOS DADOS

Enfatiza-se aqui a importância do indicador da mão de obra na construção civil. A mesma é um recurso precioso participante da execução de obras, não somente porque representa alta porcentagem do custo total, mas também, principalmente, em função de se estar lidando com seres humanos, os quais têm uma série de necessidades que deveriam ser supridas. A medição da produtividade pode, então, ser um instrumento importante para planejamento também para gestão da mão-de-obra, podendo subsidiar políticas para redução de custos e aumento da motivação no trabalho.

A seguir são apresentados os resultados obtidos para os serviços de fôrmas, escoras, armaduras, concretagem, desfôrma e, no final do estudo, elaborou-se uma análise global para toda a estrutura, envolvendo todos os serviços anteriormente citados.

4.2.1 Resultados e discussões quanto a execução de fôrmas

Apresenta-se, a seguir, os resultados obtidos para a execução das fôrmas do edifício pesquisado, conforme Quadro 03. A quantidade de fôrmas por pavimento foi de 953 m² para uma área do pavimento do edifício de 648,77 m².

CÁLCULO DE HOMENS-HORA PARA EXECUÇÃO DE FÔRMAS						
Pavimento	Hh consumido	Hh médio até a repetição	Hh/m ² de Fôrmas	Hh/m ² Fôrmas médio até a repetição	Hh/m ²	Hh/m ² médio até a repetição
1	1198,85	1198,85	1,26	1,26	1,85	1,85
2	935,11	1066,98	0,98	1,12	1,44	1,64
3	1060,72	1064,89	1,11	1,12	1,63	1,64
4	1169,33	1091,00	1,23	1,14	1,80	1,68
5	995,35	1071,87	1,04	1,12	1,53	1,65
6	928,92	1048,05	0,97	1,10	1,43	1,62
7	827,70	1016,57	0,87	1,07	1,28	1,57
8	813,99	991,25	0,85	1,04	1,25	1,53
9	931,03	984,56	0,98	1,03	1,44	1,52
10	776,04	963,70	0,81	1,01	1,20	1,49
11	739,13	943,29	0,78	0,99	1,14	1,45
12	735,97	926,01	0,77	0,97	1,13	1,43
13	825,59	918,29	0,87	0,96	1,27	1,42
14	677,98	901,12	0,71	0,95	1,05	1,39
15	811,89	895,17	0,85	0,94	1,25	1,38
16	649,51	879,82	0,68	0,92	1,00	1,36
17	669,54	867,45	0,70	0,91	1,03	1,34
18	642,13	854,93	0,67	0,90	0,99	1,32

Quadro 03 – Análise dos dados para execução de fôrmas.

Percebe-se que, conforme a segunda coluna, o número de homens hora consumido tende a reduzir conforme se aumenta a repetição. Procurou-se também estabelecer o número de homens hora por m² de fôrmas e o número de homens hora por m² do pavimento e estes também com valores médios até a repetição. Estes valores permitem a criação de índices de referência, facilitando a comparação entre os serviços executados.

Pode-se ainda chegar ao cálculo de fatores redutores, que significa o percentual de redução da produtividade ao longo do processo, considerando a primeira repetição como valor unitário. Como a literatura brasileira não considera a repetição (TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamentos), este fator redutor pode ser útil para um planejamento e previsão de

como se comporta a produtividade, segundo dos dados coletados e observados nesta pesquisa, considerando-se a repetição. Os fatores redutores podem ser observados no Quadro 04.

FATORES REDUTORES PARA EXECUÇÃO DAS FÔRMAS						
Pavimento	Hh/m ² de Fôrmas	Fator redutor (Hh/m ² de fôrmas)	Fator redutor médio até a repetição (Hh/m ² de fôrmas)	Hh/m ²	Fator redutor (Hh/m ²)	Fator redutor médio até a repetição (Hh/m ²)
1	1,26	1,00	1,00	1,85	1,00	1,00
2	0,98	0,78	0,89	1,44	0,78	0,89
3	1,11	0,88	0,89	1,63	0,88	0,89
4	1,23	0,98	0,91	1,80	0,97	0,91
5	1,04	0,83	0,89	1,53	0,83	0,89
6	0,97	0,77	0,87	1,43	0,77	0,87
7	0,87	0,69	0,85	1,28	0,69	0,85
8	0,85	0,67	0,82	1,25	0,68	0,83
9	0,98	0,78	0,82	1,44	0,78	0,82
10	0,81	0,64	0,80	1,20	0,65	0,80
11	0,78	0,62	0,78	1,14	0,62	0,79
12	0,77	0,61	0,75	1,13	0,61	0,75
13	0,87	0,69	0,74	1,27	0,69	0,74
14	0,71	0,56	0,71	1,05	0,57	0,71
15	0,85	0,67	0,69	1,25	0,68	0,69
16	0,68	0,54	0,66	1,00	0,54	0,66
17	0,70	0,56	0,64	1,03	0,56	0,64
18	0,67	0,53	0,63	0,99	0,54	0,63

Quadro 04 – Cálculo dos fatores redutores para execução de fôrmas.

Em seguida, elaborou-se também os gráficos de regressões do efeito aprendizagem ocorrido durante a execução deste serviço, em Hh/m² de fôrmas, Hh/m² do pavimento e Hh/m² do pavimento médio até a repetição, que podem ser observados através das Figuras 24, 25 e 26.

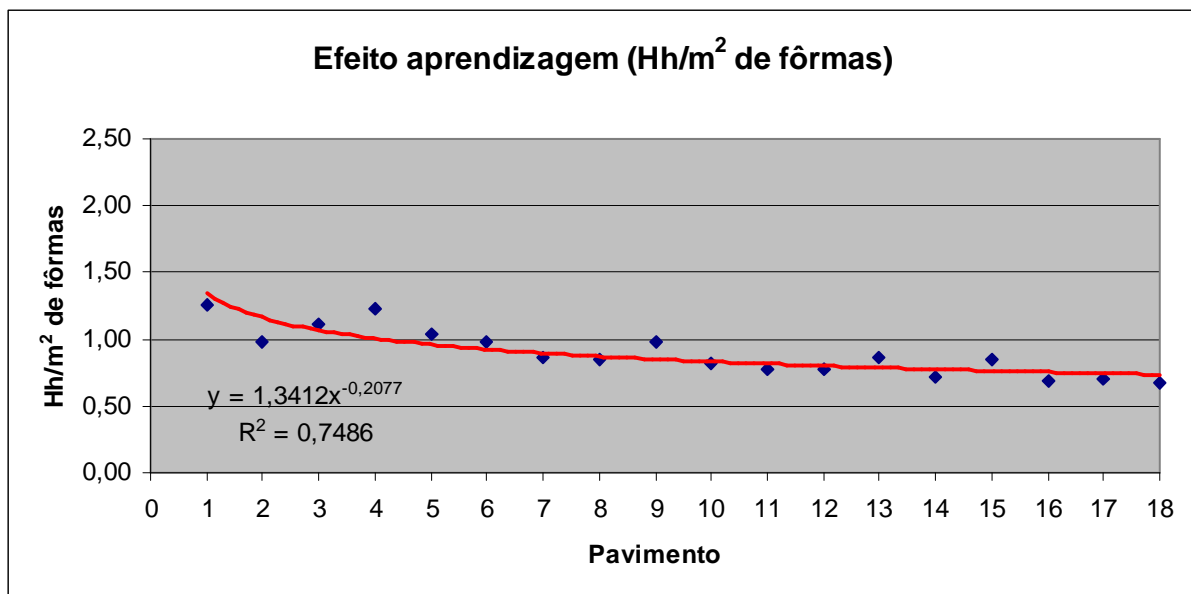


Figura 24 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de fôrmas, em Hh/m² de fôrma.

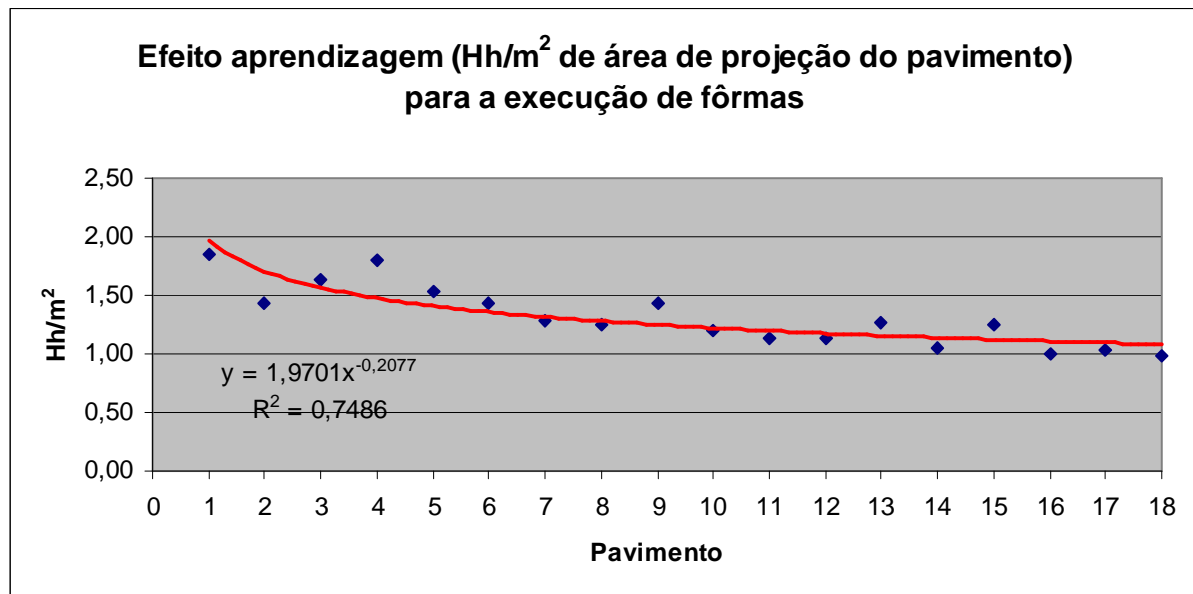


Figura 25 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de fôrmas, em Hh/m².

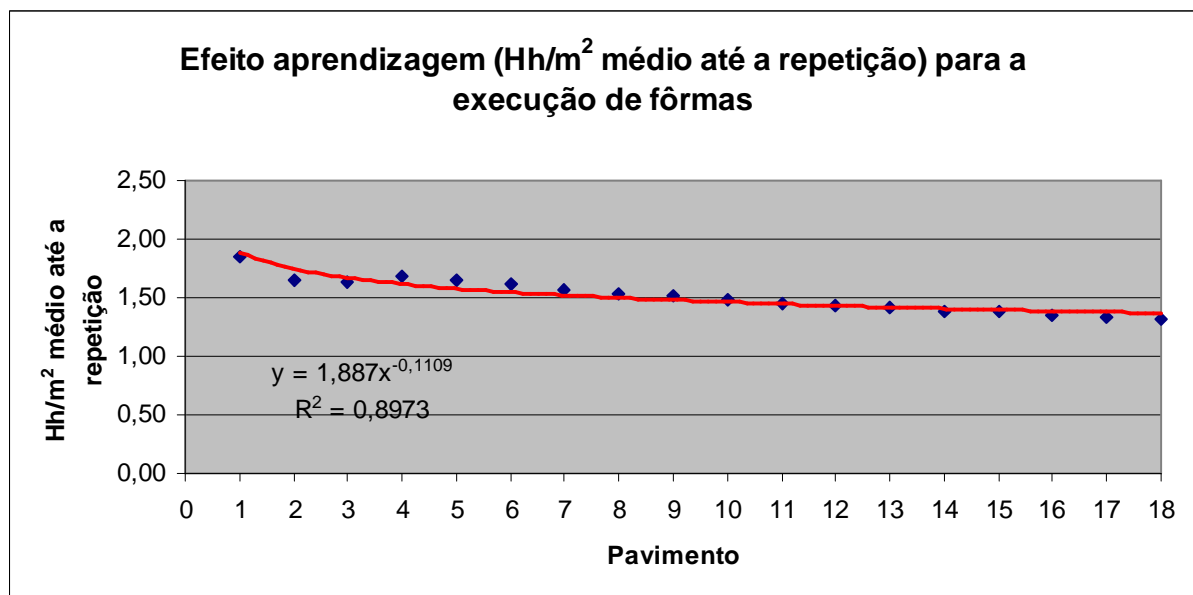


Figura 26 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de fôrmas, em Hh/m² médio até a repetição.

A equação clássica do efeito aprendizagem, da forma $Y_x = A.X^{-n}$ obtida para a equação do gráfico da Figura 24, referente aos valores de homem hora por m² de fôrmas é $Y = 1,3412.X^{-0,2077}$, com $R^2 = 0,7486$. Observa-se que o coeficiente de determinação desta curva foi de 0,74, que, segundo Silva e Barros Filho (2000) é considerado como correlação positiva muito forte. Este valor se deve ao fato de haver uma certa “dispersão” dos dados, principalmente para o 4º e 9º pavimentos, e em alguns trechos no 13º e 15º pavimentos. Em se tratando de construção civil, isto é considerado normal, visto que os processos de montagem e

adequação de fôrmas de pilares e de vigas são de produtividade variáveis e inúmeros fatores podem influenciar na mesma, como chuva e outros fatores. No entanto, percebe-se que a curva de aprendizagem se manteve de acordo com a literatura, e realmente verifica-se que ocorre o efeito aprendizagem.

Tem-se, da mesma forma, a equação $Y_x = A.X^{-n}$, obtida para a equação do gráfico da Figura 25, referente aos valores de homem hora por m^2 , sendo $Y = 1,9701.X^{-0,2077}$, com $R^2 = 0,7486$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), pode ser considerado como uma correlação positiva muito forte. Este valor do coeficiente de determinação se deve ao fato de haver uma certa “dispersão” dos dados, conforme comentado anteriormente. Percebe-se que a curva de aprendizagem se manteve de acordo com a literatura, e realmente pode-se perceber que ocorre o efeito aprendizagem.

Da mesma forma, tem-se a equação obtida para o Gráfico da Figura 26, referente aos valores de homem hora por m^2 médio até a repetição, que é $Y = 1,887X^{-0,1109}$, com $R^2 = 0,8973$, que segundo Silva e Barros Filho (2000) também pode ser considerada como uma correlação positiva muito forte. Aqui se observa um coeficiente de determinação mais alto, visto que se trata do número de homens hora médio até a repetição.

Os valores de produtividade médios até a repetição podem, de certa forma, ter utilidade em planejamento e principalmente para orçamento de obras. Um exemplo que poderia ser citado aqui é que, se esta mesma obra tivesse 5 pavimentos, por exemplo, poderia ser adotado o valor médio até a repetição para o 5º pavimento para elaboração do orçamento de obras, que é de $1,65 \text{ Hh}/m^2$, adotando-se este valor de produtividade iguais para todos os 5 pavimentos.

Finalmente, conforme equação $S = 2^{-n}$, chega-se a uma taxa “S” de 92%. Isto significa que a porcentagem do esforço médio (em número de homens hora), é de 92% quando se dobra o lote de produção, em relação ao lote anterior, podendo-se considerar relativamente dentro dos padrões e expectativas levantadas pela literatura para os serviços de estruturas em construção civil, que é de aproximadamente 95% segundo Oliveira et al. (1998).

4.2.2 Resultados e discussões quanto a execução das escoras

Apresenta-se, a seguir, os resultados obtidos para a execução das escoras do edifício pesquisado, conforme Quadro 05. A área de laje é igual a área do pavimento, que é de $648,77 \text{ m}^2$.

CALCULO DE HOMENS-HORA PARA EXECUÇÃO DE ESCORAS						
Pavimento	Hh consumido	Hh médio até a repetição	Hh/m ² de Laje	Hh/m ² de Laje médio até a repetição	Hh/m ²	Hh/m ² médio até a repetição
1	241,85	242	0,37	0,37	0,37	0,37
2	199,10	220	0,31	0,34	0,31	0,34
3	213,99	218	0,33	0,34	0,33	0,34
4	235,90	223	0,36	0,34	0,36	0,34
5	200,80	218	0,31	0,34	0,31	0,34
6	187,40	213	0,29	0,33	0,29	0,33
7	166,98	207	0,26	0,32	0,26	0,32
8	164,21	201	0,25	0,31	0,25	0,31
9	187,82	200	0,29	0,31	0,29	0,31
10	156,55	195	0,24	0,30	0,24	0,30
11	149,11	191	0,23	0,29	0,23	0,29
12	148,47	188	0,23	0,29	0,23	0,29
13	166,55	186	0,26	0,29	0,26	0,29
14	136,77	183	0,21	0,28	0,21	0,28
15	163,79	181	0,25	0,28	0,25	0,28
16	131,03	178	0,20	0,27	0,20	0,27
17	135,07	176	0,21	0,27	0,21	0,27
18	129,54	173	0,20	0,27	0,20	0,27

Quadro 05 – Análise dos dados para execução de escoras.

Percebe-se que, conforme a segunda coluna, o número de homens hora consumido tende a reduzir conforme se aumenta a repetição. Procurou-se também estabelecer o número de homens hora por m² de laje e o número de homens hora por m² do pavimento e estes também com valores médios até a repetição. Estes valores permitem a criação de índices de referência, facilitando a comparação entre os serviços executados.

Nota-se que, aqui, a quantidade de Homens-hora por metro quadrado de laje é idêntica à quantidade consumida de Homens-hora por metro quadrado do pavimento, devido ao fato que a quantidade (em metros quadrados) de laje é a própria quantidade (em metros quadrados) do pavimento.

Pode-se, ainda, chegar ao cálculo de fatores redutores, que significa o percentual de redução da produtividade ao longo do processo, considerando a primeira repetição como valor unitário. Como a literatura brasileira (TCPO) não considera a repetição, este fator redutor pode ser útil para um planejamento e previsão de como se comporta a produtividade, segundo dos dados coletados e observados nesta pesquisa, considerando-se a repetição. Os fatores redutores podem ser observados no Quadro 06.

FATORES REDUTORES PARA EXECUÇÃO DAS ESCORAS						
Pavimento	Hh/m ² de Laje	Fator redutor (Hh/m ² de Laje)	Fator redutor médio até a repetição (Hh/m ² de laje)	Hh/m ²	Fator redutor (Hh/m ²)	Fator redutor médio até a repetição (Hh/m ²)
1	0,37	1,00	1,00	0,37	1,00	1,00
2	0,31	0,84	0,92	0,31	0,84	0,92
3	0,33	0,89	0,91	0,33	0,89	0,91
4	0,36	0,97	0,93	0,36	0,97	0,93
5	0,31	0,84	0,91	0,31	0,84	0,91
6	0,29	0,78	0,89	0,29	0,78	0,89
7	0,26	0,70	0,86	0,26	0,70	0,86
8	0,25	0,68	0,84	0,25	0,68	0,84
9	0,29	0,78	0,83	0,29	0,78	0,83
10	0,24	0,65	0,81	0,24	0,65	0,81
11	0,23	0,62	0,80	0,23	0,62	0,80
12	0,23	0,62	0,78	0,23	0,62	0,78
13	0,26	0,70	0,78	0,26	0,70	0,78
14	0,21	0,57	0,76	0,21	0,57	0,76
15	0,25	0,68	0,75	0,25	0,68	0,75
16	0,20	0,54	0,74	0,20	0,54	0,74
17	0,21	0,57	0,73	0,21	0,57	0,73
18	0,20	0,54	0,72	0,20	0,54	0,72

Quadro 06 – Cálculo dos fatores redutores para execução de escoras.

Elaborou-se também os gráficos de regressões do efeito aprendizagem ocorrido durante a execução deste serviço, que podem ser observados através dos Gráficos das Figuras 27 e 28.

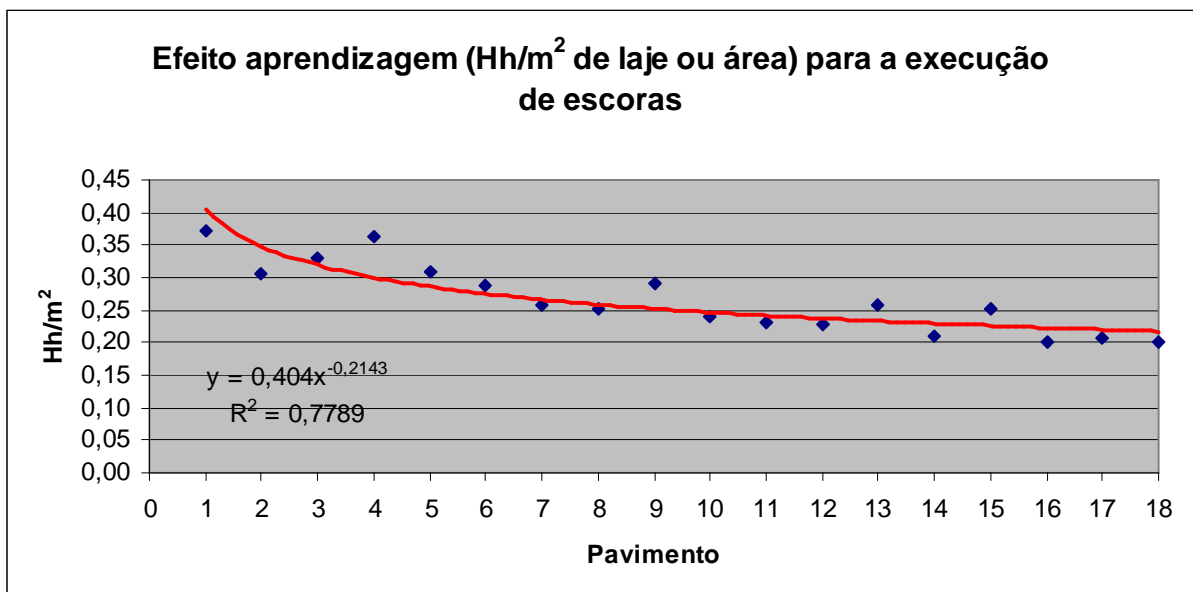


Figura 27 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de escoras, em Hh/m² de laje e/ou área do pavimento.

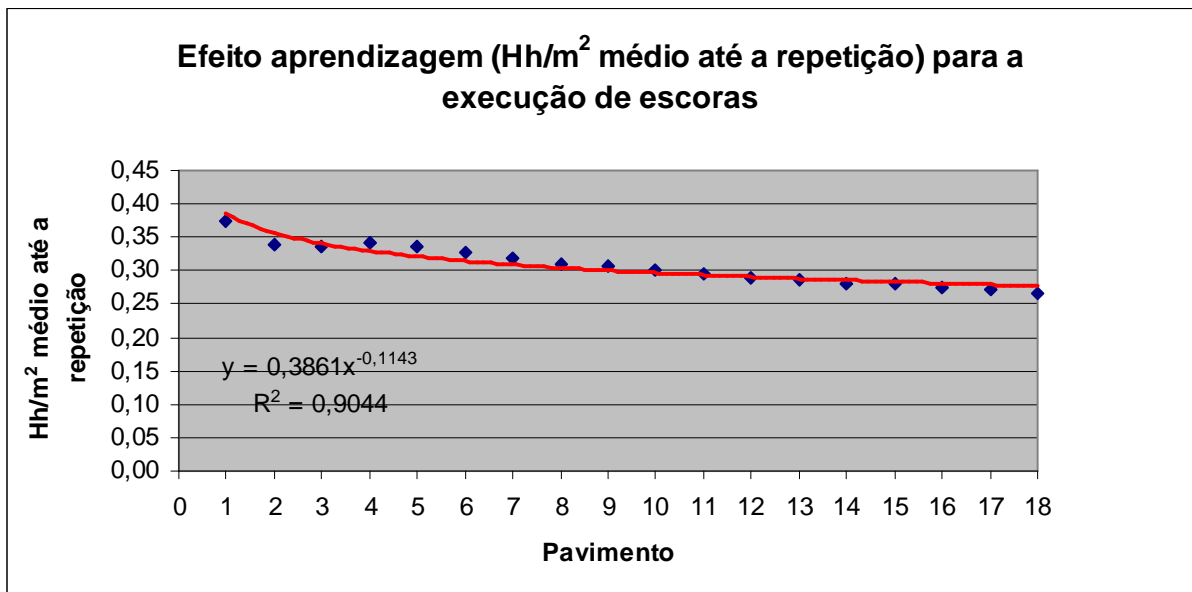


Figura 28– Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de escoras, em Hh/m² de laje e/ou área do pavimento médio até a repetição.

A equação clássica do efeito aprendizagem, da forma $Y_x = A.X^{-n}$ obtida para a equação do Gráfico da Figura 27, referente aos valores de Homem hora por m² de laje ou área do pavimento é $Y = 0,404X^{-0,2143}$, com $R^2 = 0,7789$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), pode ser considerado como uma correlação positiva muito forte. Este valor do coeficiente de determinação se deve ao fato de haver uma certa “dispersão” dos dados, principalmente para o 4º e 9º pavimentos, e em alguns trechos no 13º e 15º pavimentos. Em se tratando de construção civil, isto é considerado normal, visto que os processos de montagem e adequação são de produtividades variáveis e inúmeros fatores podem influenciar na mesma, porém a curva de aprendizagem se manteve relativamente de acordo com a literatura, e realmente pode-se perceber que ocorre o efeito aprendizagem.

Tem-se, da mesma forma, a equação da forma $Y_x = A.X^{-n}$, obtida para a equação do Gráfico da Figura 28, referente aos valores de homem hora por m² médio até a repetição, que é $Y = 0,3861X^{-0,1143}$, com $R^2 = 0,9044$, onde, segundo Silva e Barros Filho (2000), pode ser considerado como uma correlação positiva muito forte. Aqui se observa um coeficiente de determinação mais alto, pois não há muita dispersão dos dados para os serviços observados, visto que se trata de valores médios até a repetição.

Os valores de produtividade médios até a repetição podem, de certa forma, ter utilidade em planejamento e principalmente para orçamento de obras. Um exemplo que poderia ser citado aqui é que, se esta mesma obra tivesse 5 pavimentos, por exemplo, poderia ser adotado o valor médio até a repetição para o 5º pavimento para elaboração do orçamento

de obras, que é de 0,34 Hh/m², adotando-se este valor de produtividade iguais para todos os 5 pavimentos.

Finalmente, conforme equação $S = 2^{-n}$, chega-se a uma taxa “S” de 92%. Isto significa que a porcentagem do esforço médio (em número de homens hora), é de 92% quando se dobra o lote de produção, em relação ao lote anterior, podendo-se considerar relativamente dentro dos padrões e expectativas levantadas pela literatura para os serviços de estruturas em construção civil, que é de aproximadamente 95% segundo Oliveira et al. (1998).

4.2.3 Resultados e discussões quanto a execução das armaduras

Apresenta-se, a seguir, os resultados obtidos para a execução das armaduras do edifício pesquisado, conforme Quadro 07. A quantidade de aço por pavimento foi de 9.998 kg para uma área do pavimento do edifício de 648,77 m².

CALCULO DE HOMENS-HORA PARA EXECUÇÃO DE ARMADURAS						
Pavimento	Hh consumido	Hh médio até a repetição	Hh/kg de aço	Hh/kg de aço médio até a repetição	Hh/m ²	Hh/m ² médio até a repetição
1	969,62	969,62	0,10	0,10	1,49	1,49
2	782,47	876,05	0,08	0,09	1,21	1,35
3	857,90	870,00	0,09	0,09	1,32	1,34
4	971,14	895,28	0,10	0,09	1,50	1,38
5	720,50	860,33	0,07	0,09	1,11	1,33
6	665,28	827,82	0,07	0,08	1,03	1,28
7	557,85	789,25	0,06	0,08	0,86	1,22
8	538,35	757,89	0,05	0,08	0,83	1,17
9	682,88	749,55	0,07	0,07	1,05	1,16
10	503,21	724,92	0,05	0,07	0,78	1,12
11	460,13	700,85	0,05	0,07	0,71	1,08
12	464,13	681,12	0,05	0,07	0,72	1,05
13	560,71	671,86	0,06	0,07	0,86	1,04
14	392,17	651,88	0,04	0,07	0,60	1,00
15	545,32	644,78	0,05	0,06	0,84	0,99
16	361,02	627,04	0,04	0,06	0,56	0,97
17	383,79	612,73	0,04	0,06	0,59	0,94
18	353,91	598,35	0,04	0,06	0,55	0,92

Quadro 07 – Análise dos dados para execução de armaduras.

Percebe-se que, conforme a segunda coluna, o número de homens hora consumido tende a reduzir conforme se aumenta a repetição. Procurou-se também estabelecer o número de homens hora por kg de aço e o número de homens hora por m² do pavimento e estes também com valores médios até a repetição. Estes valores permitem a criação de índices de referência, facilitando a comparação entre os serviços executados.

Pode-se, ainda, chegar ao cálculo de fatores redutores, que significa o percentual de redução da produtividade ao longo do processo, considerando a primeira repetição como valor

unitário. Como a literatura brasileira (TCPO) não considera a repetição, este fator redutor pode ser útil para um planejamento e previsão de como se comporta a produtividade, segundo dos dados coletados e observados nesta pesquisa, considerando-se a repetição. Os fatores redutores podem ser observados no Quadro 08.

FATORES REDUTORES PARA EXECUÇÃO DAS ARMADURAS						
Pavimento	Hh/kg de aço	Fator redutor (Hh/kg de aço)	Fator redutor médio até a repetição (Hh/kg de aço)	Hh/m ²	Fator redutor (Hh/m ²)	Fator redutor médio até a repetição (Hh/m ²)
1	0,10	1,00	1,00	1,49	1,00	1,00
2	0,08	0,80	0,90	1,21	0,81	0,91
3	0,09	0,90	0,90	1,32	0,89	0,90
4	0,10	1,00	0,93	1,50	1,01	0,93
5	0,07	0,70	0,88	1,11	0,74	0,89
6	0,07	0,70	0,85	1,03	0,69	0,86
7	0,06	0,60	0,81	0,86	0,58	0,82
8	0,05	0,50	0,78	0,83	0,56	0,78
9	0,07	0,70	0,77	1,05	0,70	0,78
10	0,05	0,50	0,74	0,78	0,52	0,75
11	0,05	0,50	0,72	0,71	0,48	0,73
12	0,05	0,50	0,70	0,72	0,48	0,71
13	0,06	0,60	0,69	0,86	0,58	0,70
14	0,04	0,40	0,67	0,60	0,40	0,67
15	0,05	0,50	0,66	0,84	0,56	0,67
16	0,04	0,40	0,64	0,56	0,38	0,65
17	0,04	0,40	0,63	0,59	0,40	0,63
18	0,04	0,40	0,62	0,55	0,37	0,62

Quadro 08 – Cálculo dos fatores redutores para execução das armaduras.

Elaborou-se também os gráficos de regressões do efeito aprendizagem ocorrido durante a execução deste serviço, que podem ser observados através dos Gráficos das Figuras 29, 30 e 31.

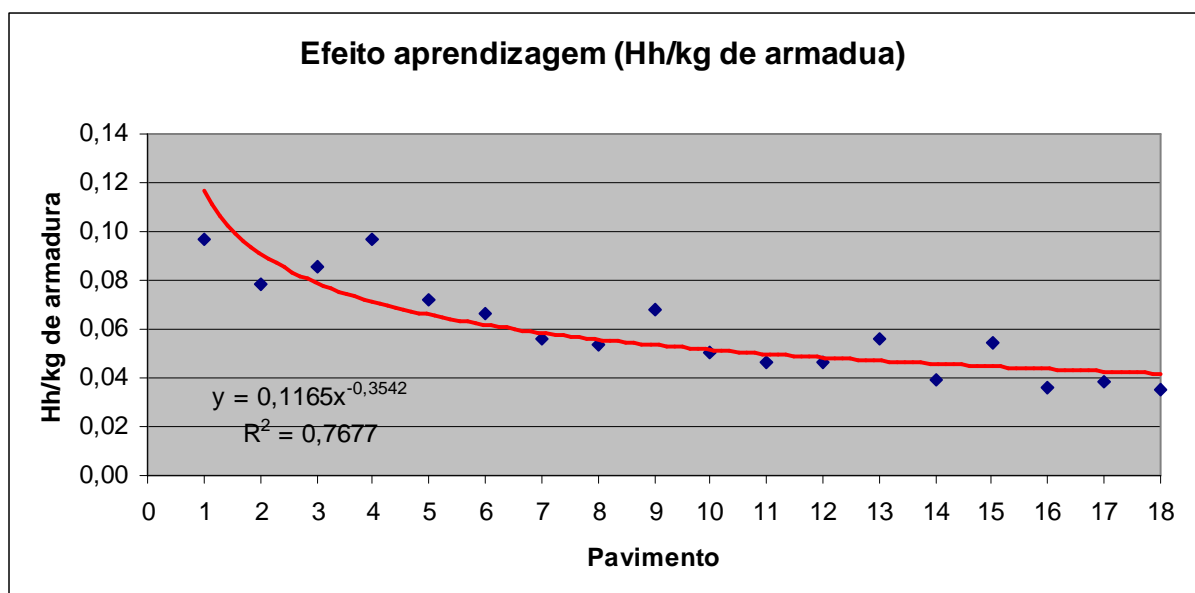


Figura 29 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução das armaduras, em Hh/kg de aço.

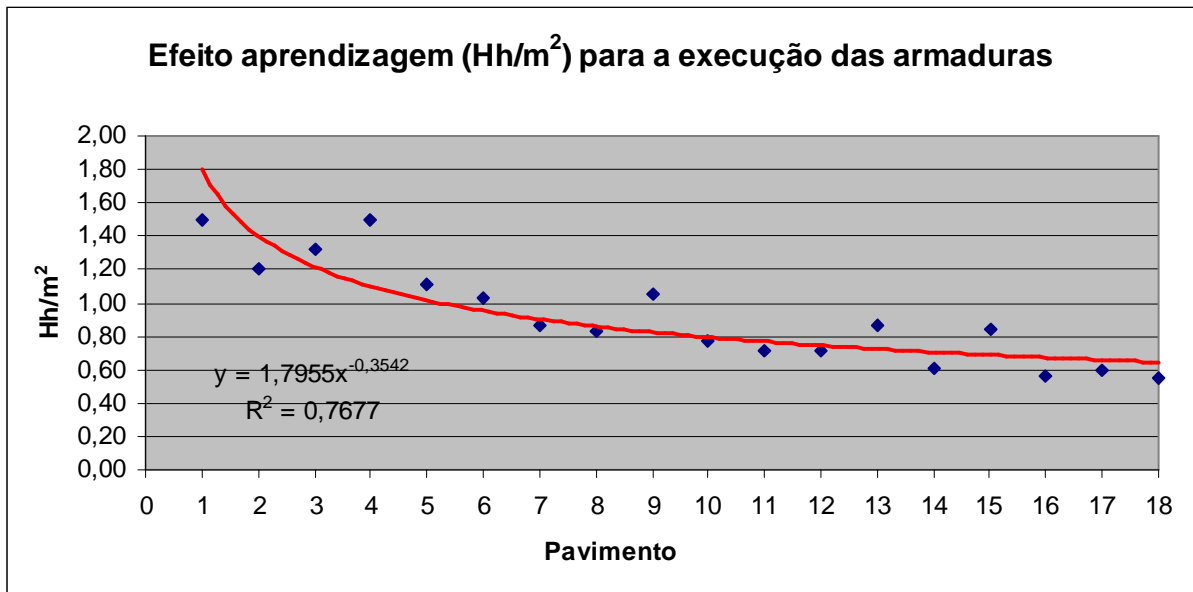


Figura 30 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução das armaduras, em Hh/m².

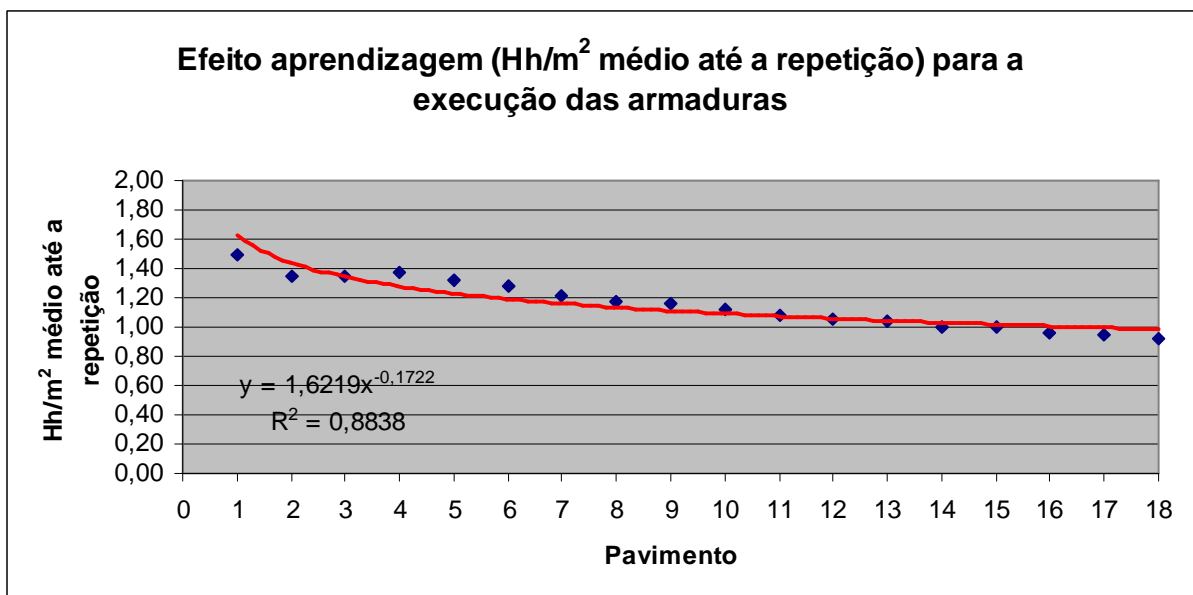


Figura 31 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução das armaduras, em Hh/m² médio até a repetição.

A equação clássica do efeito aprendizagem, da forma $Y_x = A.X^{-n}$ obtida para a equação do Gráfico da Figura 29, referente aos valores de Homem hora por kg de armadura é $Y = 0,1165.X^{-0,3542}$, com $R^2 = 0,7677$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), pode ser considerado uma correlação positiva muito forte. Observa-se que o valor do coeficiente de determinação desta curva se deve ao fato de haver uma certa “dispersão” dos dados, principalmente para o 4º e 9º pavimentos. Em se tratando de construção civil, isto é considerado normal, visto que os processos de colocação de armaduras de pilares, vigas e lajes são de

produtividade variáveis e inúmeros fatores podem influenciar na mesma, como por exemplo, a chuva e outros fatores, que não foram descontados neste processo, porém a curva de aprendizagem se manteve de acordo com a literatura, e realmente pode-se perceber que ocorreu o efeito aprendizagem.

Tem-se, da mesma forma, a equação da forma $Y_x = A.X^{-n}$, obtida para a equação do Gráfico da Figura 30, referente aos valores de homem hora por m^2 , que é $Y = 1,7955.X^{-0,3452}$, com $R^2 = 0,7677$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), pode ser considerado uma correlação positiva muito forte. Observa-se que o valor do coeficiente de determinação desta curva se deve ao fato de haver uma certa “dispersão” dos dados, principalmente para o 4º e 9º pavimentos, como pode ser observado no gráfico. Em se tratando de construção civil, isto é considerado normal, visto que os processos de colocação de armaduras de pilares, vigas e lajes são de produtividades variáveis e inúmeros fatores podem influenciar na mesma, como por exemplo, a chuva e outros fatores, que não foram descontados neste processo, porém a curva de aprendizagem se manteve de acordo com a literatura, e realmente pode-se perceber que ocorreu o efeito aprendizagem.

Da mesma forma, tem-se a equação da forma $Y_x = A.X^{-n}$, obtida para a equação do Gráfico da Figura 31, referente aos valores de homem hora por m^2 médio até a repetição, que é $Y = 1,6219X^{-0,1722}$, com $R^2 = 0,8838$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), também pode ser considerada como uma correlação positiva muito forte. Observa-se que o coeficiente de determinação aqui foi mais alto, pois não há muita dispersão dos dados para os serviços observados, visto que se trata de valores médios até a repetição.

Os valores de produtividade médios até a repetição podem, de certa forma, ter utilidade em planejamento e principalmente para orçamento de obras. Um exemplo que poderia ser citado aqui é que, se esta mesma obra tivesse 5 pavimentos, por exemplo, poderia ser adotado o valor médio até a repetição para o 5º pavimento para elaboração do orçamento de obras, que é de $1,33 \text{ Hh}/m^2$, adotando-se este valor de produtividade iguais para todos os 5 pavimentos.

Finalmente, conforme equação $S = 2^{-n}$, chega-se a uma taxa “S” de 88%. Isto significa que a porcentagem do esforço médio (em número de homens hora), é de 88% quando se dobra o lote de produção, em relação ao lote anterior, podendo-se considerar relativamente dentro dos padrões e expectativas levantadas pela literatura para os serviços de estruturas em construção civil, que é de aproximadamente 95% segundo Oliveira et al. (1998).

4.2.4 Resultados e discussões quanto o serviço de concretagem

Apresenta-se, a seguir, os resultados obtidos para a execução da concretagem do edifício pesquisado, conforme Quadro 09. A quantidade de concreto por pavimento foi de 195 m³ para uma área do pavimento do edifício de 648,77 m².

CALCULO DE HOMENS-HORA PARA EXECUÇÃO DA CONCRETAGEM						
Pavimento	Hh consumido	Hh médio até a repetição	Hh/m ³ de concreto	Hh/m ³ de concreto médio até a repetição	Hh/m ²	Hh/m ² médio até a repetição
1	209,70	209,70	1,08	1,08	0,32	0,32
2	206,40	208,05	1,06	1,07	0,32	0,32
3	204,92	207,01	1,05	1,06	0,32	0,32
4	200,50	205,38	1,03	1,05	0,31	0,32
5	200,50	204,40	1,03	1,05	0,31	0,32
6	200,45	203,75	1,03	1,04	0,31	0,31
7	199,75	203,17	1,02	1,04	0,31	0,31
8	200,00	202,78	1,03	1,04	0,31	0,31
9	199,50	202,41	1,02	1,04	0,31	0,31
10	199,50	202,12	1,02	1,04	0,31	0,31
11	199,35	201,87	1,02	1,04	0,31	0,31
12	199,60	201,68	1,02	1,03	0,31	0,31
13	199,40	201,51	1,02	1,03	0,31	0,31
14	199,40	201,36	1,02	1,03	0,31	0,31
15	199,50	201,23	1,02	1,03	0,31	0,31
16	199,30	201,11	1,02	1,03	0,31	0,31
17	199,30	201,00	1,02	1,03	0,31	0,31
18	199,30	200,91	1,02	1,03	0,31	0,31

Quadro 09 – Análise dos dados para execução da concretagem.

Percebe-se claramente, que, conforme a segunda coluna, o número de homens hora consumido tende a reduzir conforme se aumenta a repetição. Procurou-se também estabelecer o número de homens hora por m³ de concreto e o número de homens hora por m² do pavimento e estes também com valores médios até a repetição. Estes valores permitem a criação de índices de referência, facilitando a comparação entre os serviços executados.

Pode-se, ainda, chegar ao cálculo de Fatores redutores, que significa o percentual de redução da produtividade ao longo do processo, considerando a primeira repetição como valor unitário. Como a literatura brasileira (TCPO) não considera a repetição, este fator redutor pode ser útil para um planejamento e previsão de como se comporta a produtividade, segundo dos dados coletados e observados nesta pesquisa, considerando-se a repetição. Os fatores redutores podem ser observados no Quadro 10.

FATORES REDUTORES PARA EXECUÇÃO DA CONCRETAGEM						
Pavimento	Hh/m ³ de concreto	Fator redutor (Hh/m ³ de concreto)	Fator redutor médio até a repetição (Hh/m ³ de concreto)	Hh/m ²	Fator redutor (Hh/m ²)	Fator redutor médio até a repetição (Hh/m ²)
1	1,08	1,00	1,00	0,32	1,00	1,00
2	1,06	0,98	0,99	0,32	1,00	1,00
3	1,05	0,97	0,98	0,32	1,00	1,00
4	1,03	0,95	0,98	0,31	0,97	0,99
5	1,03	0,95	0,97	0,31	0,97	0,99
6	1,03	0,95	0,97	0,31	0,97	0,98
7	1,02	0,94	0,97	0,31	0,97	0,98
8	1,03	0,95	0,96	0,31	0,97	0,98
9	1,02	0,94	0,96	0,31	0,97	0,98
10	1,02	0,94	0,96	0,31	0,97	0,98
11	1,02	0,94	0,96	0,31	0,97	0,98
12	1,02	0,94	0,96	0,31	0,97	0,98
13	1,02	0,94	0,96	0,31	0,97	0,98
14	1,02	0,94	0,96	0,31	0,97	0,98
15	1,02	0,94	0,95	0,31	0,97	0,98
16	1,02	0,94	0,95	0,31	0,97	0,97
17	1,02	0,94	0,95	0,31	0,97	0,97
18	1,02	0,94	0,95	0,31	0,97	0,97

Quadro 10 - Cálculo dos fatores redutores para execução da concretagem.

Elaborou-se também os gráficos de regressões do efeito aprendizagem ocorrido durante a execução deste serviço, que podem ser observados através dos Gráficos das Figuras 32, 33 e 34.

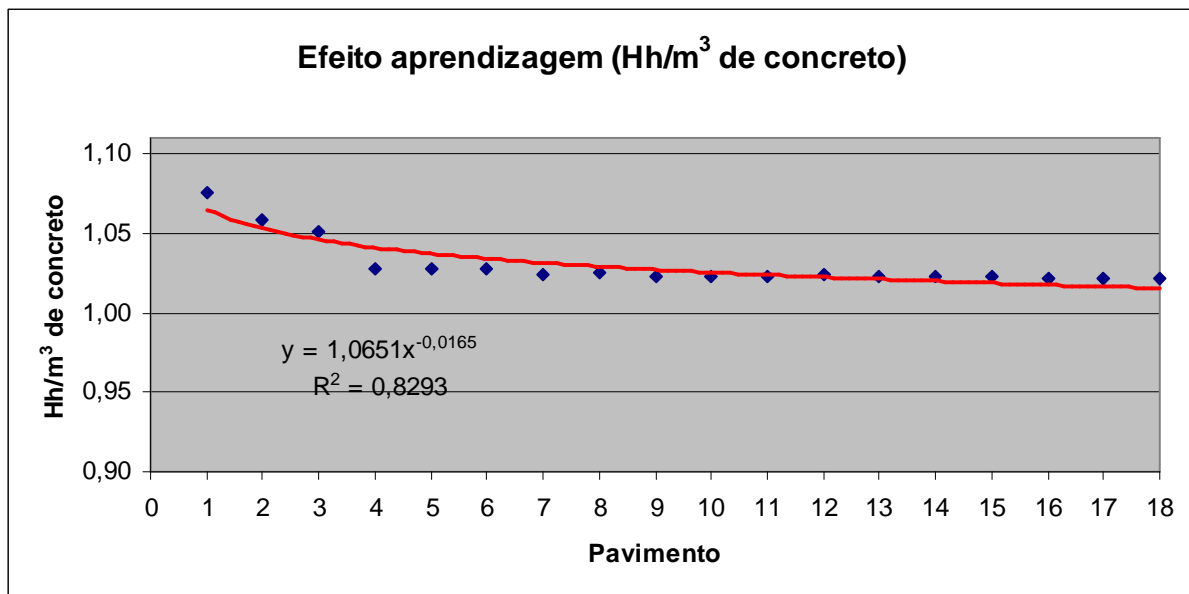


Figura 32 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da concretagem, em Hh/m³.

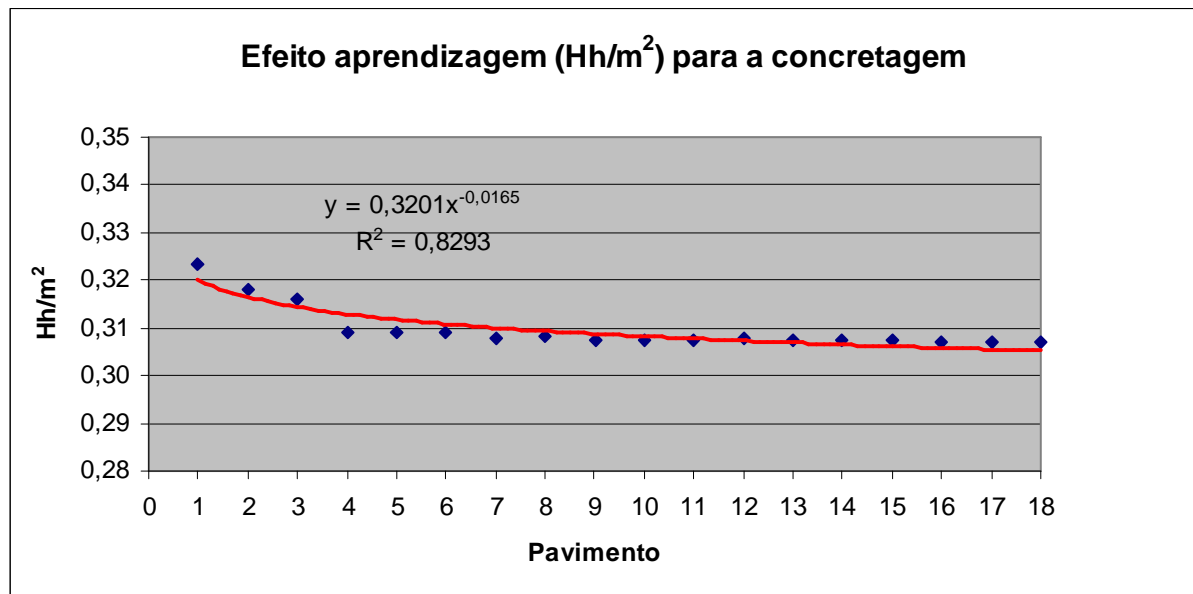


Figura 33 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da concretagem, em Hh/m².

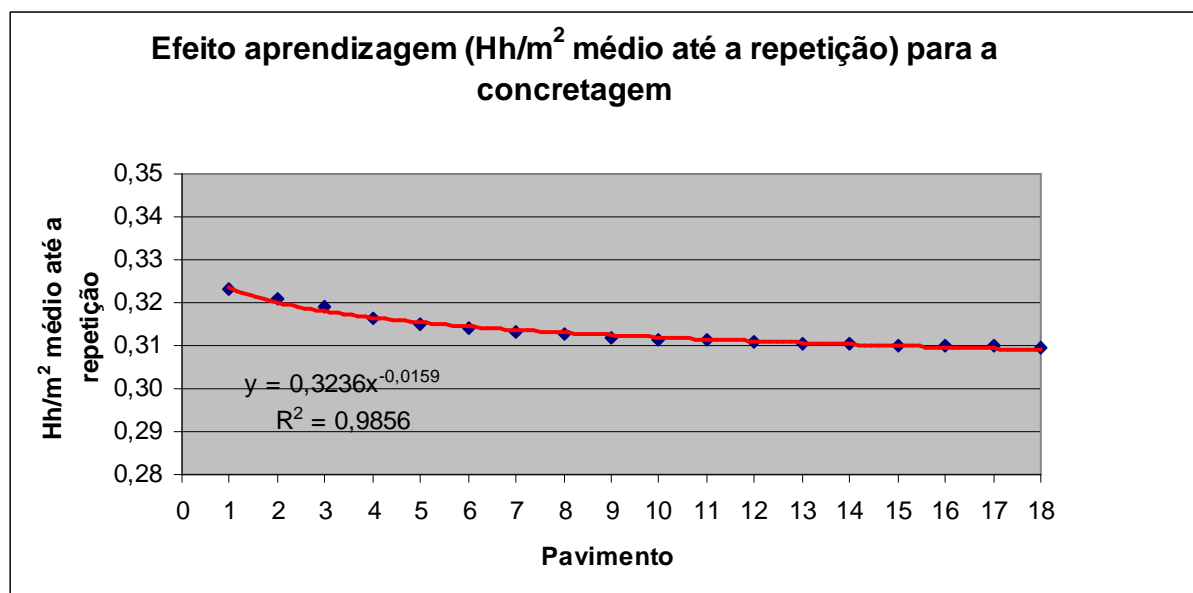


Figura 34 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da concretagem, em Hh/m² médio até a repetição.

A equação clássica do efeito aprendizagem, da forma $Y_x = A.X^{-n}$ obtida para a equação do Gráfico da Figura 32, referente aos valores de Homem hora por m³ de concreto é $Y = 1,0651.X^{-0,0165}$, com $R^2 = 0,8293$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), pode ser considerada como uma correlação positiva muito forte. Observa-se que o valor do coeficiente de determinação desta curva foi devido ao fato de não haver “dispersões” dos dados. Em se tratando de concretagem, pode-se perceber que não há mudanças significativas na produtividade entre a primeira e a última repetição (1,08 e 1,02 Hh/m³ de concreto, respectivamente). Isto se

deve, provavelmente, ao fato de que, como a concretagem foi usinada e com transporte por caçamba e bombas, há pouco o que “aprender” com este serviço, que normalmente é executado em 1 ou 2 dias e, de certa forma, a produtividade pode ser considerada praticamente constante.

Tem-se, da mesma forma, a equação da forma $Y_x = A.X^{-n}$, obtida para a equação do Gráfico da Figura 33, referente aos valores de homem hora por m^2 , que é $Y = 0,3201.X^{-0,0165}$, com $R^2 = 0,8293$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), pode ser considerado como uma correlação positiva muito forte. Observa-se que o valor do coeficiente de determinação desta curva foi devido ao fato de não haver “dispersões” dos dados, como pode ser observado no gráfico. Em se tratando de concretagem, pode-se perceber que não há mudanças significativas na produtividade entre a primeira e a última repetição (0,32 e 0,31 Hh/ m^2 , respectivamente). Isto se deve, provavelmente, ao fato de que, como a concretagem foi usinada e com transporte por caçamba e bombas, há pouco o que “aprender com isto e, de certa forma, a produtividade pode ser considerada praticamente constante.

Da mesma forma, tem-se a equação da forma $Y_x = A.X^{-n}$, obtida para a equação do Gráfico da Figura 34, referente aos valores de homem hora por m^2 médio até a repetição, que é $Y = 0,3236X^{-0,0159}$, com $R^2 = 0,9856$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), também pode ser considerada como uma correlação positiva muito forte. Aqui se Observa um coeficiente de determinação mais alto, pois não há muita dispersão dos dados para os serviços observados, visto que se trata de valores médios até a repetição.

Os valores de produtividade médios até a repetição podem, de certa forma, ter utilidade em planejamento e principalmente para orçamento de obras. Um exemplo que poderia ser citado aqui é que, se esta mesma obra tivesse 5 pavimentos, por exemplo, poderia ser adotado o valor médio até a repetição para o 5º pavimento para elaboração do orçamento de obras, que é de 0,32 Hh/ m^2 , adotando-se este valor de produtividade igual para todos os 5 pavimentos.

Em se tratando de concretagem, pode-se perceber que não há mudanças significativas na produtividade entre a primeira e a última repetição (0,325 e 0,31 Hh/ m^2 , respectivamente). Isto se deve, provavelmente, ao fato de que, como a concretagem foi usinada e com transporte por caçamba e bombas, há pouco o que “aprender” com isto e, de certa forma, a produtividade pode ser considerada praticamente constante.

Finalmente, conforme equação $S = 2^{-n}$, chega-se a uma taxa “S” de 98%. Isto significa que a porcentagem do esforço médio (em número de homens hora), é de 98% quando se dobra o lote de produção, em relação ao lote anterior, podendo-se considerar relativamente

dentro dos padrões e expectativas levantadas pela literatura para os serviços de estruturas em construção civil, que é de aproximadamente 95% segundo Oliveira et al. (1998).

4.2.5 Resultados e discussões quanto os serviços de desfôrma

Apresenta-se, a seguir, os resultados obtidos para a execução da desfôrma do edifício pesquisado, conforme Quadro 11. A quantidade de fôrmas por pavimento foi de 953,11m² para uma área do pavimento do edifício de 648,77 m².

CÁLCULO DE HOMENS-HORA PARA EXECUÇÃO DE DESFÔRMA						
Pavimento	Hh consumido	Hh médio até a repetição	Hh/m ² de Fôrmas	Hh/m ² de Fôrmas médio até a repetição	Hh/m ²	Hh/m ² médio até a repetição
1	665,29	665,29	0,70	0,70	1,03	1,03
2	633,25	649,27	0,66	0,68	0,98	1,00
3	628,54	642,36	0,66	0,67	0,97	0,99
4	627,54	638,66	0,66	0,67	0,97	0,98
5	610,50	633,02	0,64	0,66	0,94	0,98
6	605,55	628,45	0,64	0,66	0,93	0,97
7	595,64	623,76	0,62	0,65	0,92	0,96
8	599,60	620,74	0,63	0,65	0,92	0,96
9	589,43	617,26	0,62	0,65	0,91	0,95
10	590,50	614,58	0,62	0,64	0,91	0,95
11	590,90	612,43	0,62	0,64	0,91	0,94
12	583,50	610,02	0,61	0,64	0,90	0,94
13	590,00	608,48	0,62	0,64	0,91	0,94
14	588,45	607,05	0,62	0,64	0,91	0,94
15	589,70	605,89	0,62	0,64	0,91	0,93
16	586,70	604,69	0,62	0,63	0,90	0,93
17	587,00	603,65	0,62	0,63	0,90	0,93
18	585,30	602,63	0,61	0,63	0,90	0,93

Quadro 11 – Análise dos dados para execução da desfôrma.

Percebe-se claramente, que, conforme a segunda coluna, o número de homens hora consumido tende a reduzir conforme se aumenta a repetição. Procurou-se também estabelecer o número de homens hora por m² de fôrmas e o número de homens hora por m² do pavimento e estes também com valores médios até a repetição. Estes valores permitem a criação de índices de referência, facilitando a comparação entre os serviços executados.

Pode-se, ainda, chegar ao cálculo de fatores redutores, que significa o percentual de redução da produtividade ao longo do processo, considerando a primeira repetição como valor unitário. Como a literatura brasileira (TCPO) não considera a repetição, este fator redutor pode ser útil para um planejamento e previsão de como se comporta a produtividade, segundo dos dados coletados e observados nesta pesquisa, considerando-se a repetição. Os fatores redutores podem ser observados no Quadro 12.

FATORES REDUTORES PARA EXECUÇÃO DA DESFÔRMA						
Pavimento	Hh/m ² de Fôrmas	Fator redutor (Hh/m ² de fôrmas)	Fator redutor médio até a repetição (Hh/m ² de fôrmas)	Hh/m ²	Fator redutor (Hh/m ²)	Fator redutor médio até a repetição (Hh/m ²)
1	0,70	1,00	1,00	1,03	1,00	1,00
2	0,66	0,94	0,97	0,98	0,95	0,98
3	0,66	0,94	0,96	0,97	0,94	0,96
4	0,66	0,94	0,96	0,97	0,94	0,96
5	0,64	0,91	0,95	0,94	0,91	0,95
6	0,64	0,91	0,94	0,93	0,90	0,94
7	0,62	0,89	0,93	0,92	0,89	0,93
8	0,63	0,90	0,93	0,92	0,89	0,93
9	0,62	0,89	0,93	0,91	0,88	0,92
10	0,62	0,89	0,92	0,91	0,88	0,92
11	0,62	0,89	0,92	0,91	0,88	0,92
12	0,61	0,87	0,91	0,90	0,87	0,91
13	0,62	0,89	0,91	0,91	0,88	0,91
14	0,62	0,89	0,91	0,91	0,88	0,91
15	0,62	0,89	0,91	0,91	0,88	0,91
16	0,62	0,89	0,91	0,90	0,87	0,91
17	0,62	0,89	0,91	0,90	0,87	0,90
18	0,61	0,87	0,90	0,90	0,87	0,90

Quadro 12 - Cálculo dos fatores redutores para execução da desfôrma.

Elaborou-se também os gráficos de regressões do efeito aprendizagem ocorrido durante a execução deste serviço, que podem ser observados através dos gráficos das figuras 35, 36 e 37.

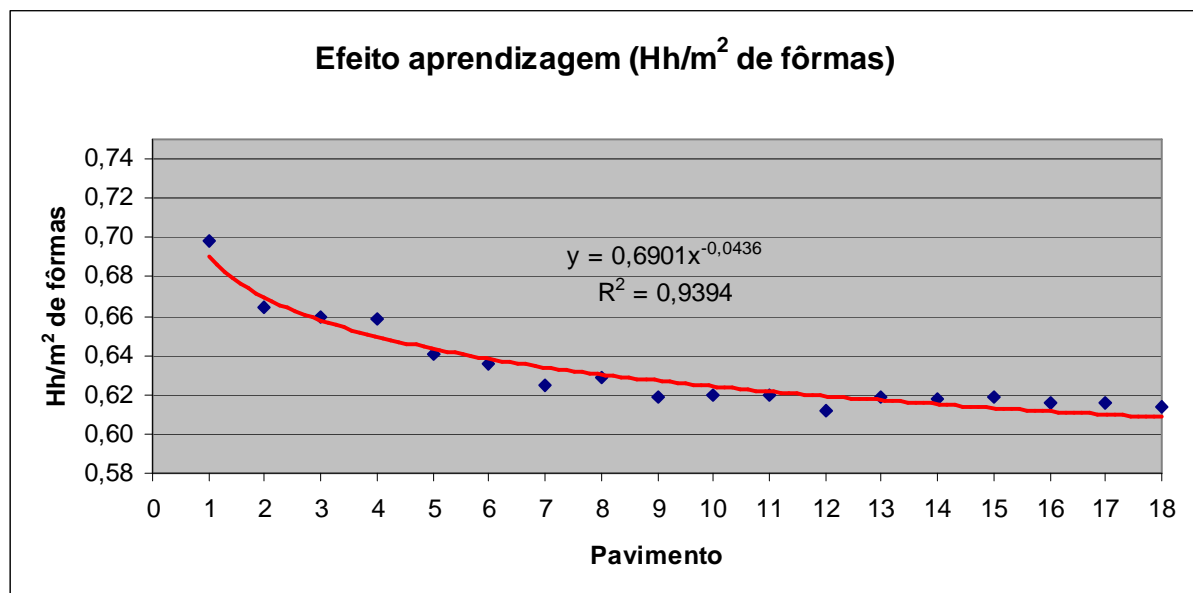


Figura 35– Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da desfôrma, em Hh/m² de fôrma.

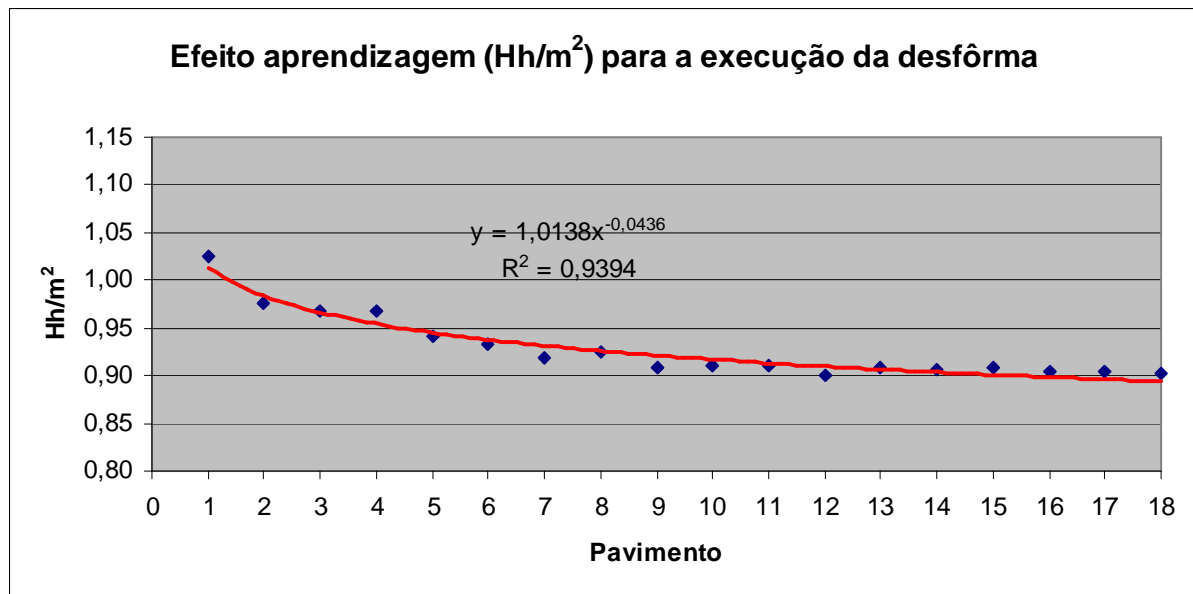


Figura 36 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da desfôrma, em Hh/m².

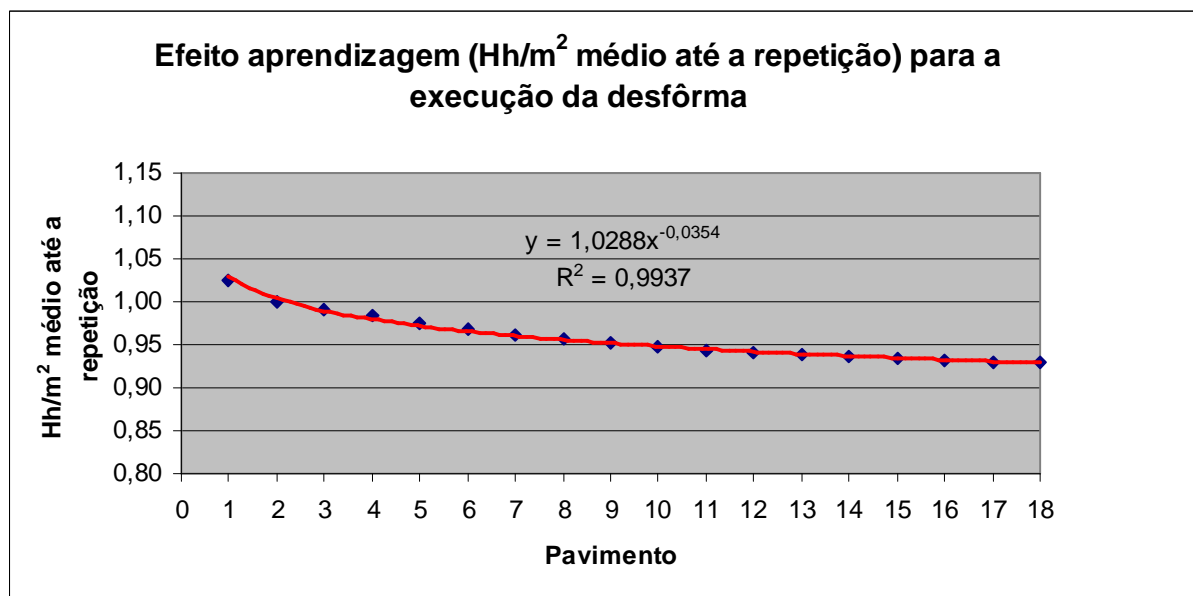


Figura 37 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução da desfôrma, em Hh/m² médio até a repetição.

A equação clássica do efeito aprendizagem, da forma $Y_x = A.X^{-n}$ obtida para a equação do Gráfico da Figura 35, referente aos valores de Homem hora por m² de fôrmas é $Y = 0,6901.X^{-0,0435}$, com $R^2 = 0,9394$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), pode ser considerada como uma correlação positiva muito forte. Observa-se que o valor do coeficiente de determinação desta curva foi devido ao fato de não haver “dispersões” dos dados. Isto se deve ao fato de que, como na concretagem, o serviço de desfôrma também ser um processo simples, não tendo muito o que “aprender”, por isso as dispersões são mínimas.

Tem-se, da mesma forma, a equação da forma $Y_x = A.X^{-n}$, obtida para a equação do Gráfico da Figura 36, referente aos valores de homem hora por m^2 , que é $Y = 1,0138.X^{-0,0435}$, com $R^2 = 0,9394$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), pode ser considerada como uma correlação positiva muito forte. Observa-se que o valor do coeficiente de determinação desta curva foi devido ao fato de não haver “dispersões” dos dados. Isto se deve ao fato de que, como na concretagem, o serviço de desfôrma também ser um processo simples, não tendo muito o que “aprender”, por isso as dispersões são mínimas.

Da mesma forma, tem-se a equação da forma $Y_x = A.X^{-n}$, obtida para a equação do Gráfico da Figura 37, referente aos valores de homem hora por m^2 médio até a repetição, que é $Y = 1,0288X^{-0,0354}$, com $R^2 = 0,9932$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), também pode ser considerado como uma correlação positiva muito forte. Observa-se, aqui, um coeficiente de determinação mais alto, pois não há muita dispersão dos dados para os serviços observados, visto que se trata de valores médios até a repetição.

Os valores de produtividade médios até a repetição podem, de certa forma, ter utilidade em planejamento e principalmente para orçamento de obras. Um exemplo que poderia ser citado aqui é que, se esta mesma obra tivesse 5 pavimentos, por exemplo, poderia ser adotado o valor médio até a repetição para o 5º pavimento para elaboração do orçamento de obras, que é de $0,98 \text{ Hh}/m^2$, adotando-se este valor de produtividade igual para todos os 5 pavimentos.

Finalmente, conforme equação $S = 2^{-n}$, chega-se a uma taxa “S” de 97%. Isto significa que a porcentagem do esforço médio (em número de homens hora), é de 97% quando se dobra o lote de produção, em relação ao lote anterior, podendo-se considerar relativamente dentro dos padrões e expectativas levantadas pela literatura para os serviços de estruturas em construção civil, que é de aproximadamente 95% segundo Oliveira et al. (1998).

4.2.6 Resultados e discussões quanto a execução global da estrutura

Apresenta-se, enfim, os resultados obtidos para a execução de toda a estrutura do edifício pesquisado, conforme Quadro 13. A área do pavimento do edifício é de $648,77 \text{ m}^2$.

CÁLCULO DE HOMENS-HORA PARA EXECUÇÃO DE TODA ESTRUTURA				
Pavimento	Hh consumido	Hh médio até a repetição	Hh/m ²	Hh/m ² médio até a repetição
1	3285,31	3285,31	5,06	5,06
2	2756,33	3020,82	4,25	4,66
3	2966,07	3002,57	4,57	4,63
4	3204,41	3053,03	4,94	4,71
5	2727,65	2987,95	4,20	4,61
6	2587,60	2921,23	3,99	4,50
7	2347,92	2839,33	3,62	4,38
8	2316,15	2773,93	3,57	4,28
9	2590,66	2753,57	3,99	4,24
10	2225,80	2700,79	3,43	4,16
11	2138,62	2649,68	3,30	4,08
12	2131,67	2606,52	3,29	4,02
13	2342,25	2586,19	3,61	3,99
14	1994,77	2543,94	3,07	3,92
15	2310,20	2528,36	3,56	3,90
16	1927,56	2490,81	2,97	3,84
17	1974,70	2460,45	3,04	3,79
18	1910,18	2429,88	2,94	3,75

Quadro 13 – Análise dos dados para execução de toda a estrutura do edifício.

Percebe-se que, conforme a segunda coluna, o número de homens hora consumido tende a reduzir conforme se aumenta a repetição. Procurou-se também estabelecer o número de homens hora por m² e este também com valores médios até a repetição. Estes valores permitem a criação de índices de referência, facilitando a comparação entre os serviços executados.

Pode-se, ainda, chegar ao cálculo de fatores redutores, que significa o percentual de redução da produtividade ao longo do processo, considerando a primeira repetição como valor unitário. Como a literatura brasileira (TCPO) não considera a repetição, este fator redutor pode ser útil para um planejamento e previsão de como se comporta a produtividade, segundo dos dados coletados e observados nesta pesquisa, considerando-se a repetição. Os fatores redutores podem ser observados no Quadro 14.

FATORES REDUTORES PARA EXECUÇÃO DE TODA ESTRUTURA			
Pavimento	Hh/m ²	Fator redutor (Hh/m ²)	Fator redutor médio até a repetição (Hh/m ²)
1	5,06	1,00	1,00
2	4,25	0,84	0,92
3	4,57	0,90	0,91
4	4,94	0,98	0,93
5	4,20	0,83	0,91
6	3,99	0,79	0,89
7	3,62	0,72	0,86
8	3,57	0,71	0,84
9	3,99	0,79	0,84
10	3,43	0,68	0,82
11	3,30	0,65	0,81
12	3,29	0,65	0,79
13	3,61	0,71	0,79
14	3,07	0,61	0,77
15	3,56	0,70	0,77
16	2,97	0,59	0,76
17	3,04	0,60	0,75
18	2,94	0,58	0,74

Quadro 14 - Cálculo dos fatores redutores para execução de toda a estrutura.

Elaborou-se também os gráficos de regressões do efeito aprendizagem ocorrido durante a execução deste serviço, que podem ser observados através dos Gráficos das Figuras 38 e 39.

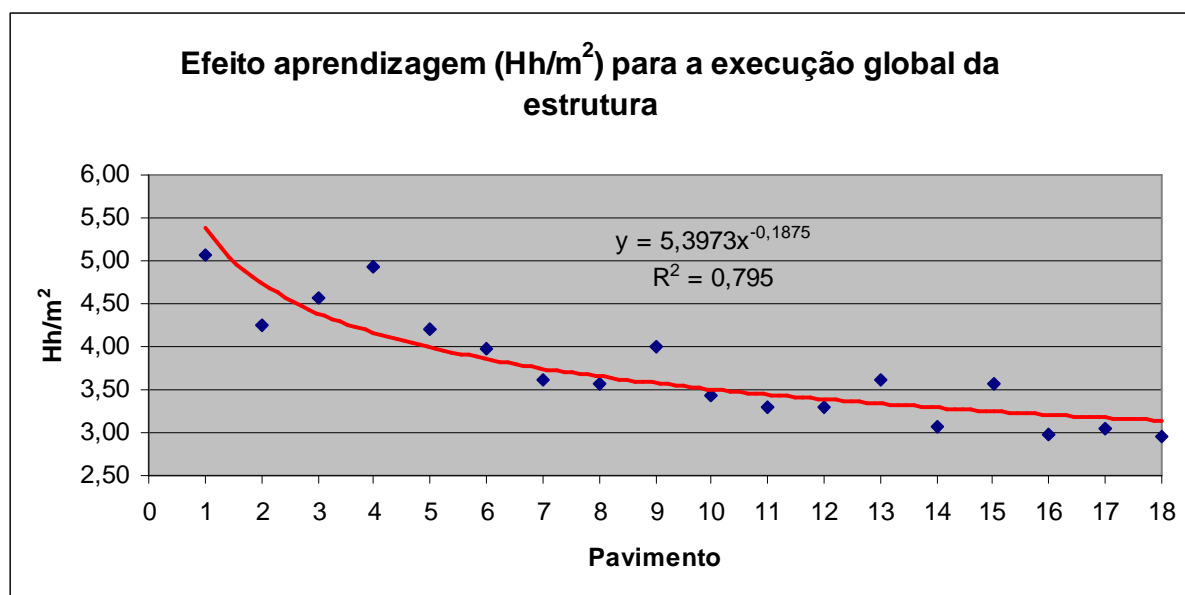


Figura 38 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de toda a estrutura do edifício, em Hh/m².

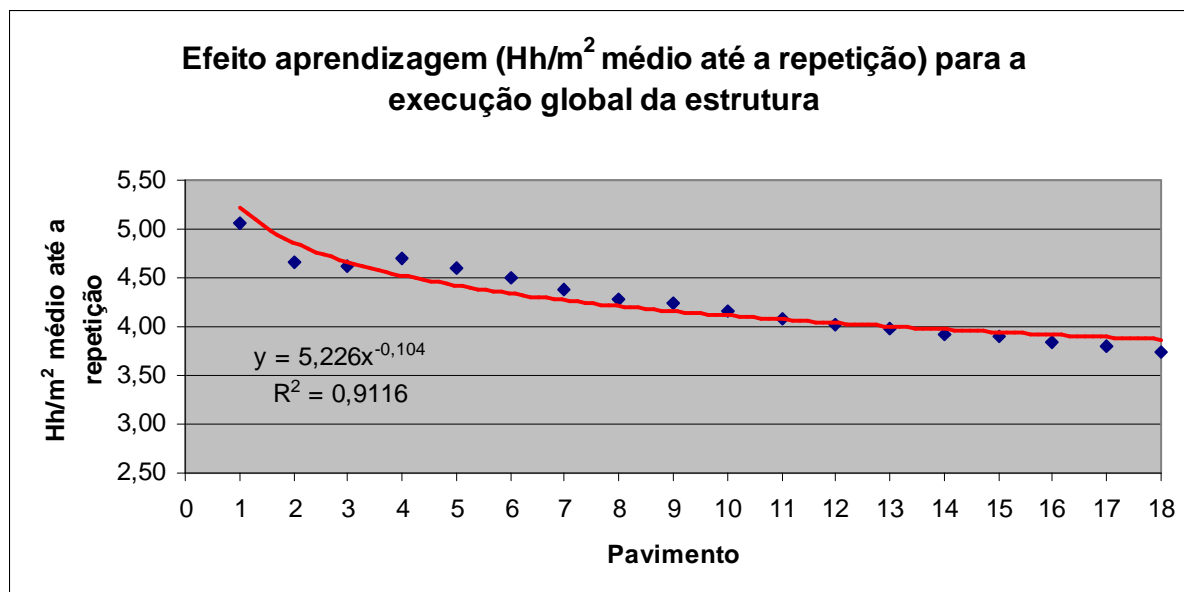


Figura 39 – Regressão do consumo de mão-de-obra na execução de toda a estrutura do edifício, em Hh/m² médio até a repetição.

A equação clássica do efeito aprendizagem, da forma $Y_x = A.X^{-n}$ obtida para a equação do Gráfico da Figura 38, referente aos valores de Homem hora por m² é $Y = 5,3973.X^{-0,1875}$, com $R^2 = 0,795$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), pode ser considerado como uma correlação positiva muito forte. Observa-se que o valor do coeficiente de determinação desta curva foi devido ao fato de haver certas “dispersões” dos dados, como pode ser observado no gráfico. Em construção civil considera-se isto absolutamente dentro do normal.

Da mesma forma, tem-se a equação da forma $Y_x = A.X^{-n}$, obtida para a equação do Gráfico da Figura 39, referente aos valores de homem hora por m² médio até a repetição, que é $Y = 5,226X^{-0,104}$, com $R^2 = 0,9116$, que, segundo Silva e Barros Filho (2000), pode ser considerado como uma correlação positiva muito forte. Observa-se, aqui, um coeficiente de determinação mais alto, pois não há muita dispersão dos dados para os serviços observados, visto que se trata de valores médios até a repetição.

Os valores de produtividade médios até a repetição podem, de certa forma, ter utilidade em planejamento e principalmente para orçamento de obras. Um exemplo que poderia ser citado aqui é que, se esta mesma obra tivesse 5 pavimentos, por exemplo, poderia ser adotado o valor médio até a repetição para o 5º pavimento para elaboração do orçamento de obras, que é de 4,61 Hh/m² para a execução de toda a estrutura do edifício, adotando-se este valor de produtividade igual para todos os 5 pavimentos.

Finalmente, conforme equação $S = 2^{-n}$, chega-se a uma taxa “S” de 93%. Isto significa que a porcentagem do esforço médio (em número de homens hora), é de 93% quando se dobra o lote de produção, em relação ao lote anterior, podendo-se considerar relativamente dentro dos padrões e expectativas levantadas pela literatura para os serviços de estruturas em construção civil, que é de aproximadamente 95% segundo Oliveira et al. (1998).

4.2.7 Comparação dos coeficientes de determinação, equações e Taxas “S” para os serviços

Observa-se, segundo o Quadro 15, a comparação das Taxas “S” considerando-se o cálculo de Hh/m^2 médio até a repetição (que estabelecem a inclinação da curva), o coeficiente de determinação e as equações da curva. Optou-se por apresentar os gráficos e regressões com os valores de consumo médio de mão-de-obra por m^2 de projeção até a repetição devido ao fato de que esses valores permitem a criação de índices de referência, facilitando comparações entre os serviços executados. Além disso, para planejamento e orçamento de obras, é razoável se usar valores médios como valores de referência de tempo, custo e produtividade.

SERVIÇO	EQUAÇÃO	R ²	S
Fôrmas	$Y = 1,887X^{-0,1109}$	0,8973	92%
Escoras	$Y = 0,3861X^{-0,1143}$	0,9044	92%
Armaduras	$Y = 1,6219X^{-0,1722}$	0,8838	88%
Concretagem	$Y = 0,3236X^{-0,0159}$	0,9856	98%
Desfôrma	$Y = 1,0288X^{-0,0354}$	0,9932	97%
Total Geral	$Y = 5,226X^{-0,104}$	0,9116	93%

Quadro 15 – Comparação dos dados de todos os serviços.

Percebe-se, de acordo com o Quadro 20, que os coeficientes de determinação foram todos superiores a 0,88, sendo então, conforme Silva e Barros Filho (2000), considerados com uma correlação positiva muito forte. Além disso, a taxa “S” para os serviços de desfôrmas e também o de concretagem são os que apresentam uma maior porcentagem. Isto significa que estes serviços apresentam um aprendizado menor, já que quanto menor a porcentagem da taxa “S”, maior o aprendizado. A concretagem, por exemplo, normalmente é executada em um dia, ou até em menos tempo, devido a isso não há muito o que “aprender” neste tipo de serviço. Na execução da desfôrma também foi observada uma taxa “S” alta, que significa que o aprendizado foi pouco observado na execução deste serviço. Os serviços que apresentaram uma menor taxa “S” foram os de armaduras, e, logo após, fôrmas e escoras. Isto significa dizer que o

aprendizado foi maior para o serviço de armaduras, e em segundo lugar, igualmente para fôrmas e escoras, que normalmente são observados como os serviços mais complexos na execução da estrutura de edifícios, confirmando o que consta na literatura sobre o assunto.

Os serviços de armaduras apresentam uma menor taxa “S”, significando que este serviço foi o mais complicado de todos os observados e o aprendizado foi maior. Isto se deve ao fato de que, apesar das armaduras serem dobradas e cortadas em centrais, observou-se, no canteiro, que as mesmas não estavam completas como constava no projeto estrutural, necessitando de alguns ajustes, colocação de espaçadores, armadura de pele em vigas, de ancoragem no encontro das armaduras de pilares e vigas, além do transpasse (que é feito segundo a norma) e também montagem dos estribos, que não vinham juntos com cada peça. Observou-se, em alguns casos, falta de armadura superior e negativa em vigas, necessidade de posicionamento correto das armaduras nas peças estruturais, entre outros. Devido a isso, este serviço foi o quem mais sofreu complicação na execução, o que, conseqüentemente, levou a um maior aprendizado (menor taxa “S”).

A partir dos gráficos e das regressões, pode ser observado que a equação clássica adotada para modelar o efeito aprendizagem no consumo médio para a execução de estrutura de concreto do edifício estudado teve coeficientes de determinação superiores a 0,89. As taxas “S” obtidas estão dentro das expectativas levantadas pela literatura para serviços na construção civil, sendo que o aprendizado no estudo foi maior que o valor de 89% para a execução da estrutura.

Entretanto, deve-se ressaltar que, para um planejamento e controle de obras adequado, podem existir outros parâmetros que podem influenciar nestes resultados, quem também devem ser levados em conta na tomada de decisão. Tais aspectos estão fora do limite desta pesquisa, mas que são importantes serem descritos, como condições de tempo, fatores de construtibilidade como fator de facilidade/dificuldade de execução, organização do canteiro de obras, projetos racionalizados e com boas condições de apoio à execução dos serviços, maior ou menor continuidade da execução e tipo de laje como facilidade/dificuldade de execução da estrutura.

4.3 CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA PARA O PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E GESTÃO DE OBRAS

Uma contribuição importante que esta pesquisa pode implicar para o planejamento de obras é a diferença entre um planejamento tradicional para projetos de edifícios com

características repetitivas, considerando a produtividade, tempo de execução e custos constantes, sem considerar o efeito aprendizagem e um planejamento estratégico e mais refinado para edifícios com tais características, considerando-se todos os conceitos e fenômenos descritos nesta pesquisa, para fins de previsão e controle de tempo de execução, custos e produtividade. A diferença entre um planejamento convencional e um planejamento mais refinado pode ser observado a seguir.

Elaborou-se um intervalo de 95% de confiança dos valores estarem acima e abaixo da média da produtividade observada nos pavimentos, conforme pode ser observado no Quadro 16.

INTERVALO DE CONFIANÇA DE 95% PARA A PRODUTIVIDADE					
Pavimento	Hh/m ² convencional	Hh/m ² real	Hh/m ² mínimo	Hh/m ² máximo	Desvio padrão
1	3,74	5,06	4,88	5,24	0,67
2	3,74	4,25	4,14	4,36	0,45
3	3,74	4,57	4,44	4,70	0,52
4	3,74	4,94	4,80	5,08	0,59
5	3,74	4,20	4,10	4,30	0,40
6	3,74	3,99	3,88	4,10	0,43
7	3,74	3,62	3,51	3,73	0,43
8	3,74	3,57	3,46	3,68	0,46
9	3,74	3,99	3,89	4,09	0,40
10	3,74	3,43	3,32	3,54	0,42
11	3,74	3,30	3,20	3,40	0,40
12	3,74	3,29	3,19	3,39	0,40
13	3,74	3,61	3,50	3,72	0,43
14	3,74	3,07	2,97	3,17	0,39
15	3,74	3,56	3,45	3,67	0,41
16	3,74	2,97	2,87	3,07	0,38
17	3,74	3,04	2,93	3,15	0,43
18	3,74	2,94	2,83	3,04	0,39

Quadro 16 – Intervalo de confiança de 95% para a produtividade na execução do edifício.

A primeira coluna corresponde ao pavimento a ser executado. A segunda coluna representa o que seria um planejamento convencional, ou seja, a média de produtividade (que também poderia ser tratado como custo e tempo), para a execução de todo o edifício (a média dos valores de produtividade observados). A terceira coluna representa os dados reais de produtividade coletados nesta pesquisa. A quarta coluna representa um valor com 95% de confiança para a produtividade abaixo dos valores médios observados para cada pavimento e a última coluna representa um valor com 95% de confiança para a produtividade acima dos valores médios observados para cada pavimento.

A partir disso, elaborou-se um gráfico do efeito aprendizagem para os valores de produtividade reais e também para o intervalo de valores de produtividade com 95% de confiança, abaixo e acima dos valores coletados, conforme pode ser observado na Figura 40.

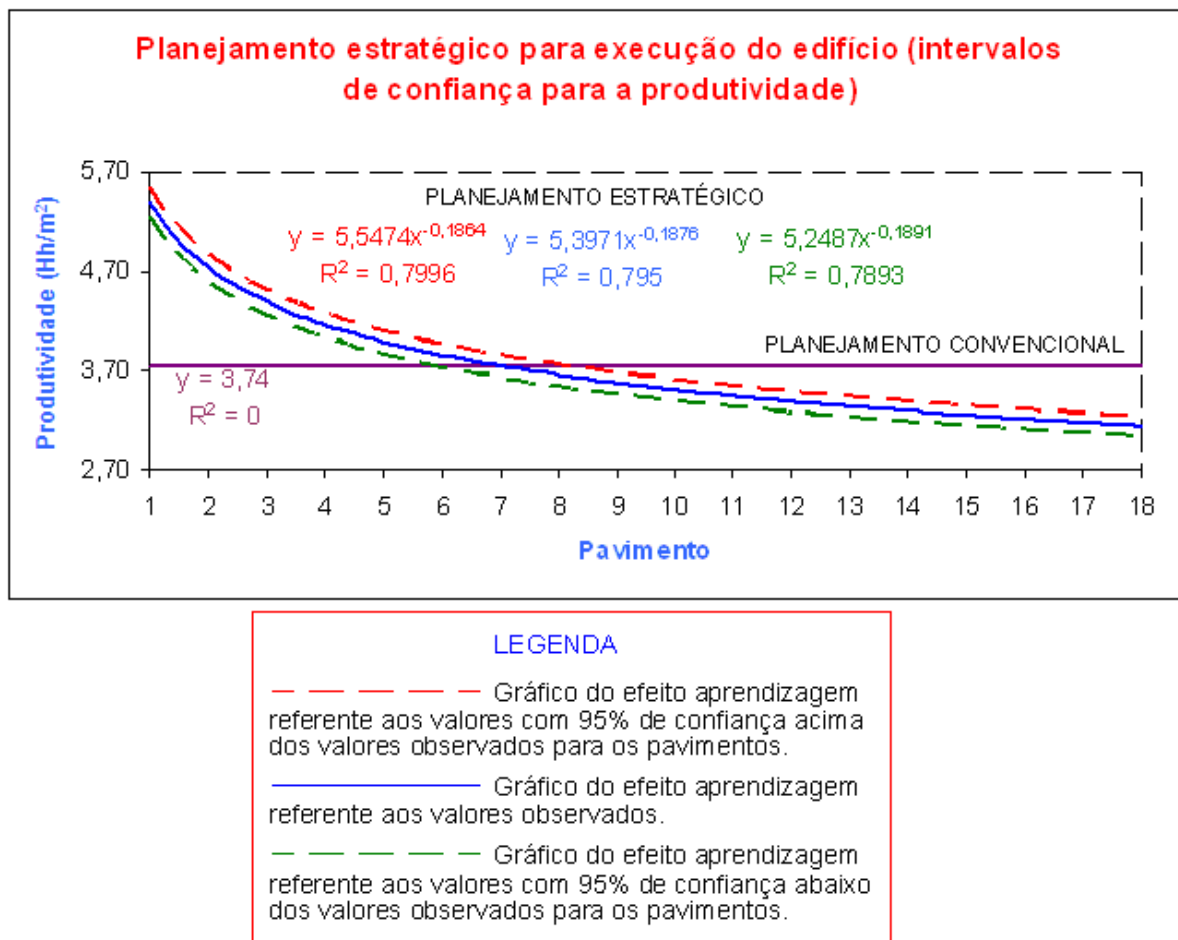


Figura 40 - Planejamento convencional e Planejamento estratégico com intervalos de confiança.

Observa-se, através do Gráfico da Figura 40, a diferença entre o planejamento convencional (considerando-se a produtividade constante), como uma linha reta, uma equação simples de $y=3,74$ para todos os valores de “x” e um planejamento mais refinado e estratégico a ser adotado pelas empresas. Elaborou-se ainda um intervalo de 95% de confiança para o efeito aprendizagem, utilizando-se as ferramentas da estatística em Excel.

Pode-se, notar na Figura 40, como exemplo, que, para o 2º pavimento, conforme representado no gráfico, a produtividade esperada para o segundo pavimento seria, substituindo $X = 2$ na equação $Y = 5,3971X^{-0,1876}$, uma produtividade de 4,73 Hh/m². Um valor com 95% de confiança mínimo para o segundo pavimento seria, substituindo $X = 2$ na equação $Y = 5,2487X^{-0,1891}$, uma produtividade de 4,60 Hh/m² e um valor máximo, substituindo-se $X = 2$ na equação $Y = 5,5474X^{-0,1864}$, uma produtividade de 4,87 Hh/m². Resumindo, tem-se 95% de confiança de que, para o 2º pavimento, a produtividade pode estar num intervalo de 4,60 Hh/m² e 4,87 Hh/m². Estes mesmos critérios poderiam ser estabelecidos para custos e tempo para planejamento em edifícios de características

repetitivas. Como o enfoque desta pesquisa é a produtividade, o estudo e desenvolvimento dos dados aqui descritos limita-se ao estudo da produtividade. Mas, evidentemente, o planejamento envolve tempo e também custos, pelo qual pode-se estabelecer os mesmos procedimentos de cálculo e sistema aqui abordados.

Chega-se também, adotando-se os mesmos procedimentos anteriores, os valores de produtividade para previsão em planejamento, por exemplo, para o 6º pavimento, que seria, com 95% de confiança da produtividade estar entre $3,74\text{Hh/m}^2$ e $3,97\text{Hh/m}^2$.

Com isso, percebe-se que o planejamento ganha qualidade e um refinamento amplo comparando-se com um planejamento convencional, estratégia esta considerada mais refinada e de cunho importantíssimo a ser adotado para os gestores e engenheiros de planejamento de empresas construtoras.

4.3.1. Visualização gráfica dos dados para fins de planejamento

Para visualizar graficamente a diminuição do número de homem-hora ao longo da execução da estrutura do edifício pesquisado, elaborou-se um histograma (um gráfico de barras verticais relacionados a um par de eixos coordenados), tendo como abscissa o pavimento e como ordenada, no caso do estudo, o número de homens-hora utilizado, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 41.

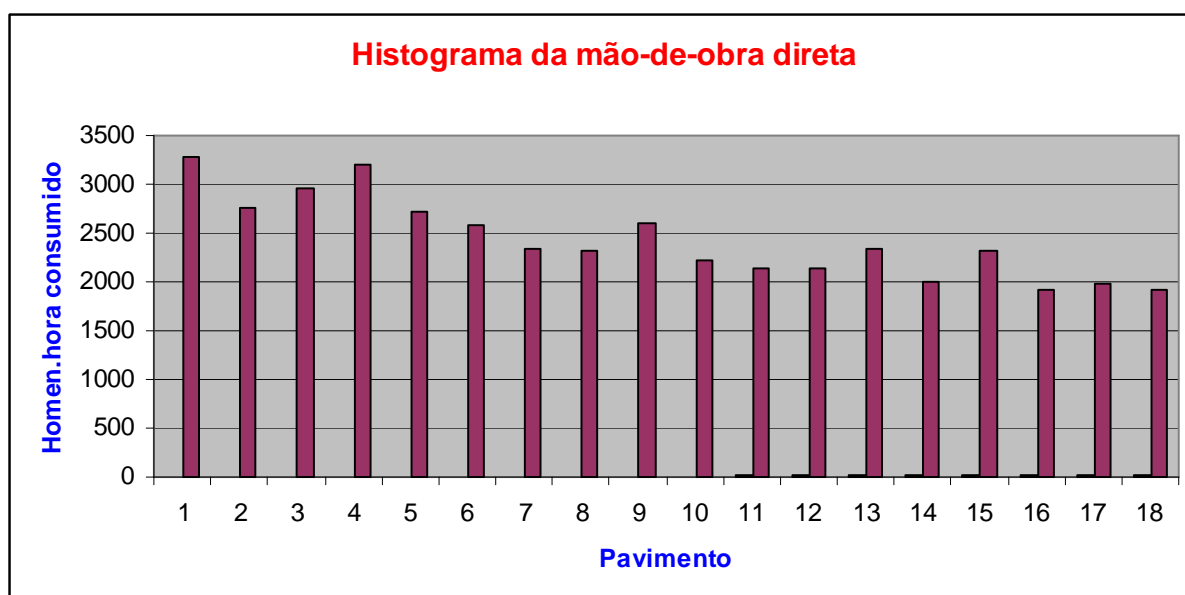


Figura 41 – Histograma de mão-de-obra da estrutura do edifício.

Outra forma de visualizar o cronograma de mão-de-obra é através da curva “S”, conforme pode ser observado no Gráfico da Figura 42, que serve, entre outras coisas, para mostrar o andamento planejado de um projeto, o seu consumo de mão-de-obra (analisado nesta pesquisa), ou de materiais, ou outro qualquer necessário à sua execução.

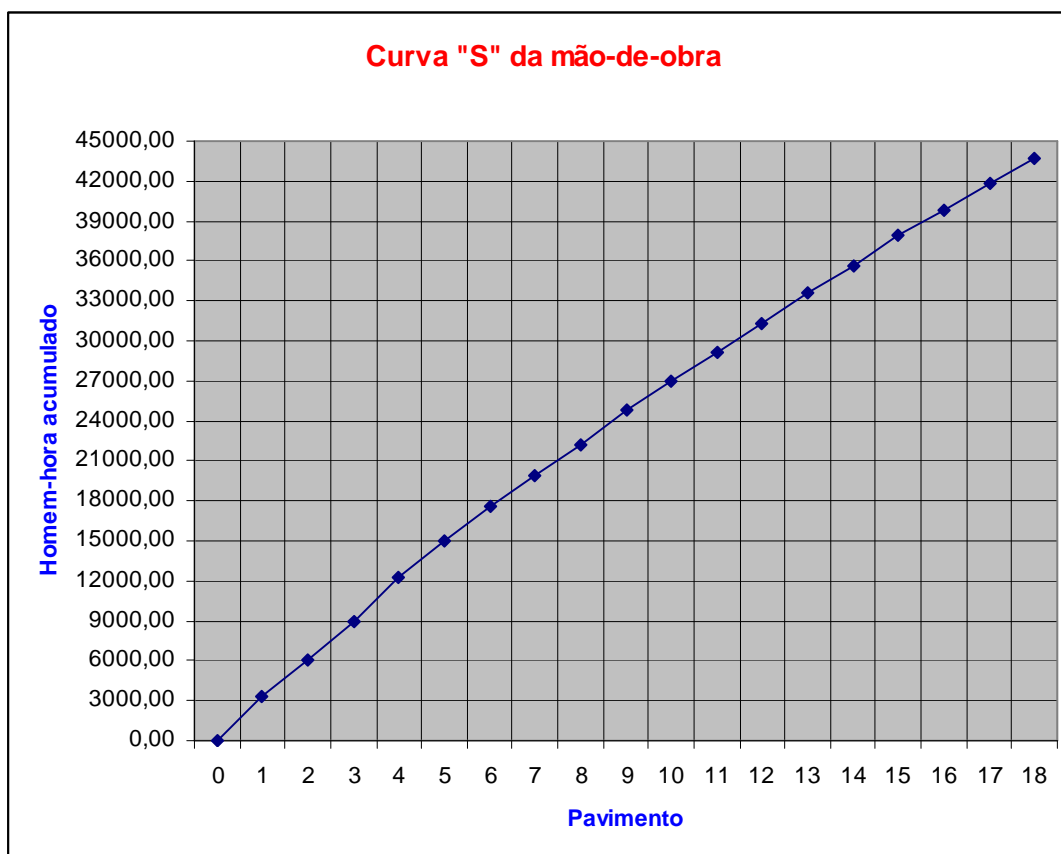


Figura 42 – Curva “S” da mão-de-obra.

Com o objetivo de se visualizar a economia com mão-de-obra ao longo da execução do edifício, elaborou-se um gráfico considerando o custo horário médio da mão-de-obra segundo dados obtidos do SINDUSCON-PR (2010), sendo: Servente: R\$ 2,59; Meio-oficial: R\$ 2,80; Oficial: R\$ 3,75, Contra-mestre: R\$ 3,99 e Mestre de obras: R\$ 5,54, o que gera uma média de R\$ 3,73. O custo é calculado pela multiplicação do número de homem-hora no pavimento pelo custo médio da hora dos operários, procedimento este que pode visualizar a diferença dos custos de mão-de-obra entre os pavimentos do edifício, conforme Gráfico da Figura 43.

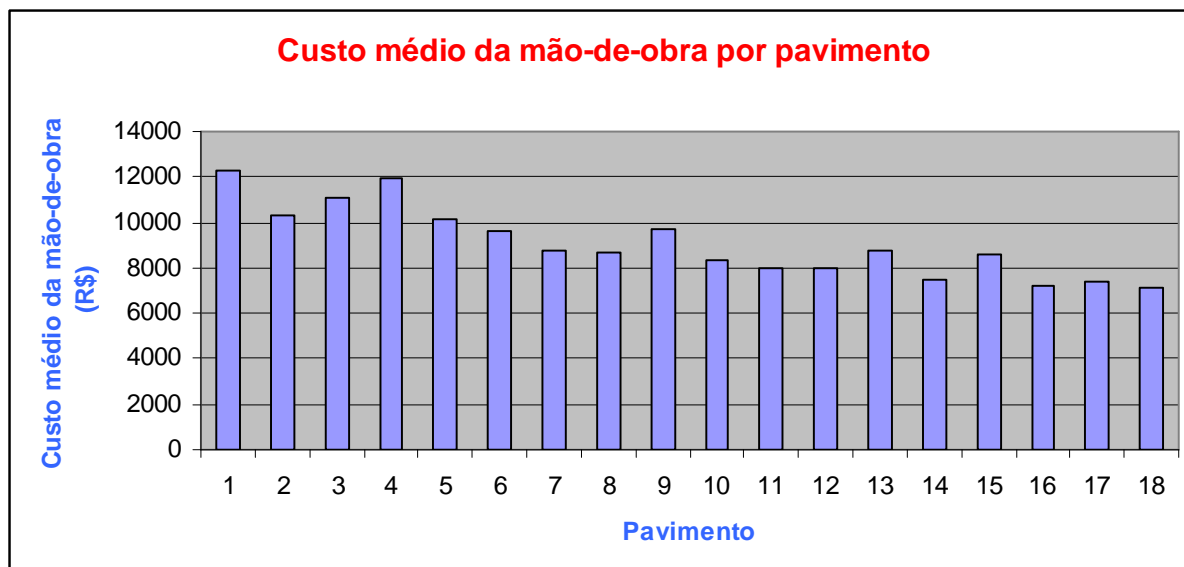


Figura 43 – Custo médio da mão-de-obra por pavimento.

Uma característica importante que pode ser citada aqui é que, para a 18ª repetição o custo com mão-de-obra foi de aproximadamente R\$ 6.500,00 enquanto que o custo da mão-de-obra para a realização da 1ª repetição foi de aproximadamente R\$ 12.100,00. Isso corresponde a uma redução de aproximadamente 50% com mão-de-obra ao longo do processo.

4.3.2 Análise dos dados da amostragem do trabalho

A seguir são apresentados os dados coletados, para serventes, carpinteiros, armadores e pedreiros, bem como a distribuição geral das atividades, na fase da execução da estrutura do edifício, conforme Quadro 17.

RESULTADO DAS OBSERVAÇÕES INSTANTÂNEAS					
Atividades	Serventes	Carpinteiros	Armadores	Pedreiros	Total por atividade
Produtivas	248	125	155	170	698
Auxiliares	15	136	78	63	292
Improdutivas	37	39	67	67	210
Total de observações	300	300	300	300	1200

Quadro 17 – Resultado das observações instantâneas.

Para uma melhor visualização e interpretação dos resultados, apresenta-se estes resultados como porcentagem do total de observações para cada função, sob a forma de gráficos, os quais podem ser visualizados através das Figuras 44, 45, 46, 47 e 48.

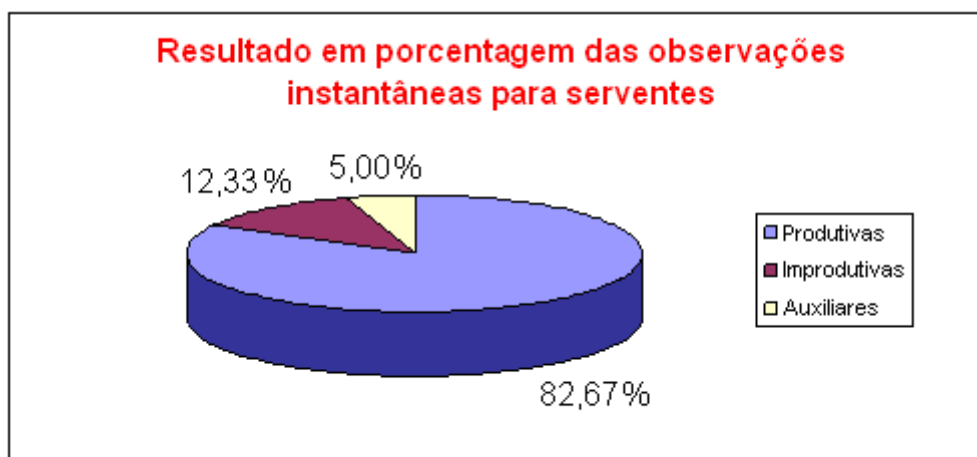


Figura 44 – Resultado das observações instantâneas para serventes.

Para os serventes, conforme pode ser observado no Gráfico da Figura 44, os tempos produtivos foram de 82,67%, tempos improdutivo de 12,33% e tempos auxiliares de 5,00%, sendo que, de acordo com o observado, os serventes passam a maioria do tempo produzindo. O fato curioso observado aqui é que aproximadamente a metade do tempo improdutivo é auxiliar, para estes operários.

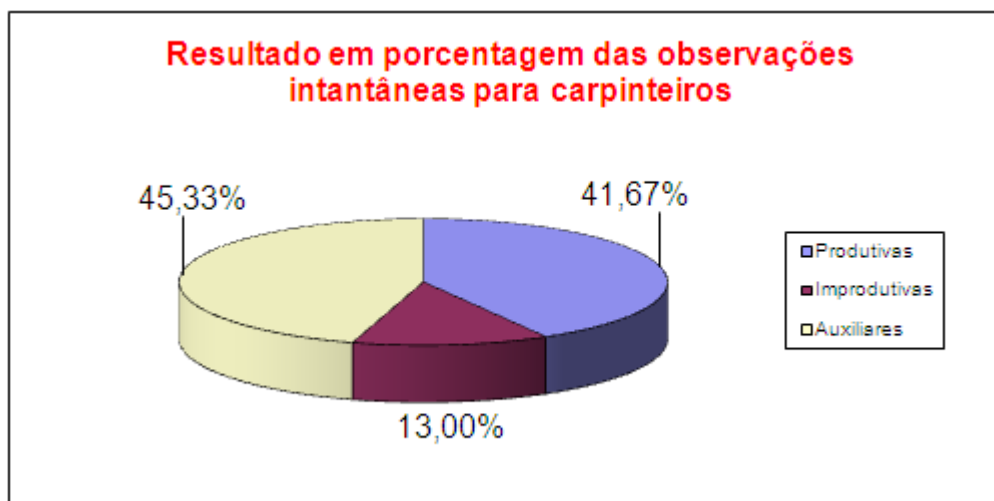


Figura 45 – Resultado das observações instantâneas para carpinteiros.

Conforme análise do Gráfico da Figura 45, para o setor de carpintaria, percebe-se que os tempos produtivos são de 41,67%. Os tempos auxiliares ficam com aproximadamente 45,33% e os tempos improdutivo com 13,00%.

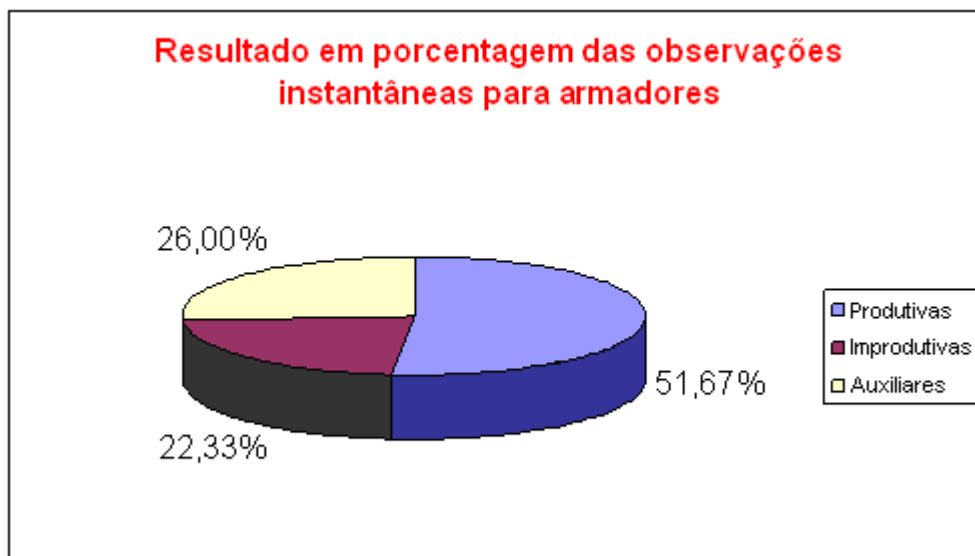


Figura 46 – Resultado das observações instantâneas para armadores.

Para os armadores, conforme pode ser observado no Gráfico da Figura 46, os tempos produtivos somam a maioria, com 51,67%, os tempos auxiliares com 26% e os tempos improdutivo com 22,33%.



Figura 47 – Resultado das observações instantâneas para pedreiros.

Observa-se, segundo dados do Gráfico da Figura 47, que, para os pedreiros, os tempos produtivos são de aproximadamente 60%, os auxiliares são aproximadamente 20% e os improdutivo 22,33%. Importante citar-se, aqui, que os pedreiros participaram apenas nos serviços de concretagem.

No geral, as atividades da mão-de-obra para a estrutura do edifício ficam assim distribuídas, conforme Figura 48.

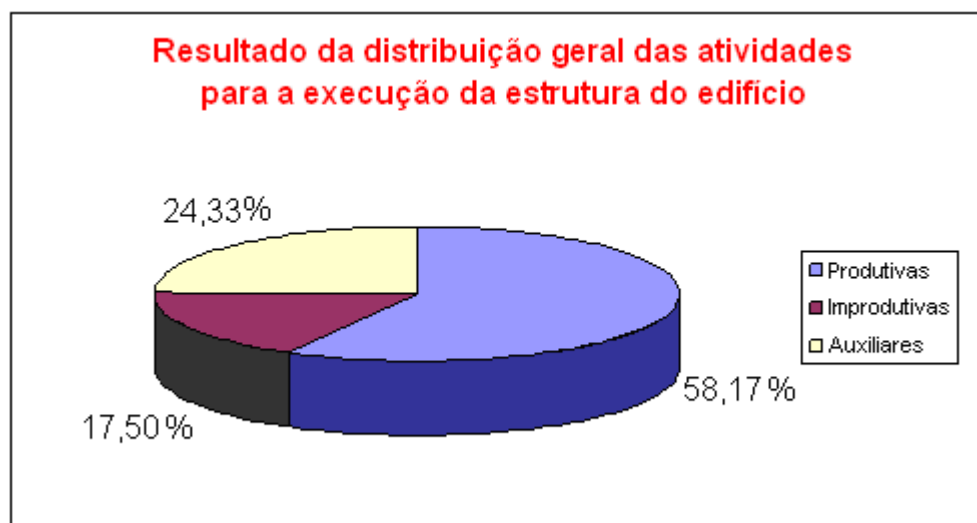


Figura 48 – Resultado da distribuição geral das atividades para a execução da estrutura do edifício.

Uma análise global para todos os operários resultou um total de tempos produtivos de aproximadamente 60%, total de tempos auxiliares de aproximadamente 25% e um total de tempos improdutivo de aproximadamente 18%, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 48.

4.3.3 Análise dos dados da amostragem de trabalho por pavimento

Elaborou-se, também, um gráfico que correlaciona a amostragem de trabalho coletada por pavimento, tentando, de certa forma, estabelecer uma relação ou algum tipo de curva ou linha de tendência para que seja feita uma análise e um comparativo com os gráficos das curvas de aprendizagem, relacionando-se o percentual dos tempos (produtivos, auxiliares e improdutivo) para todos os funcionários envolvidos na execução da estrutura no pavimento corrente (pedreiros, carpinteiros, armadores e serventes), conforme pode ser observado no gráfico da Figura 49.

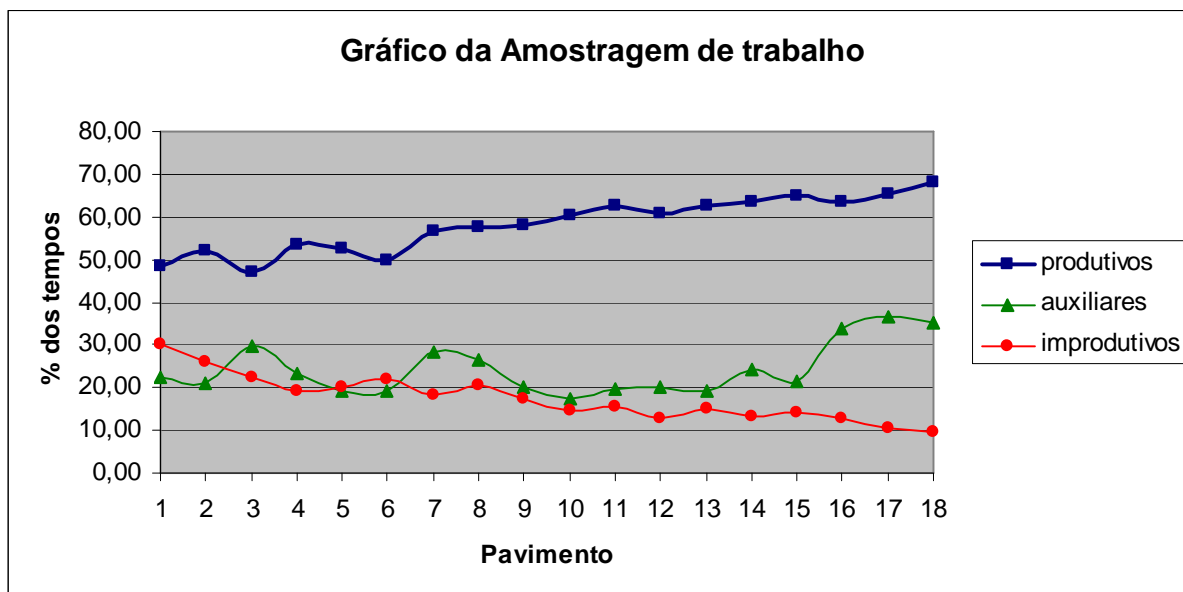


Figura 49 – Relação da amostragem de trabalho por observações instantâneas por pavimento.

Na Figura 50 elaborou-se um gráfico para a amostragem de trabalho nos pavimentos correlacionando-os da mesma forma que para o efeito aprendizagem, criando uma equação da forma $Y = A \cdot X^n$ para verificar se há alguma relação com os gráficos do efeito aprendizagem conforme visto.

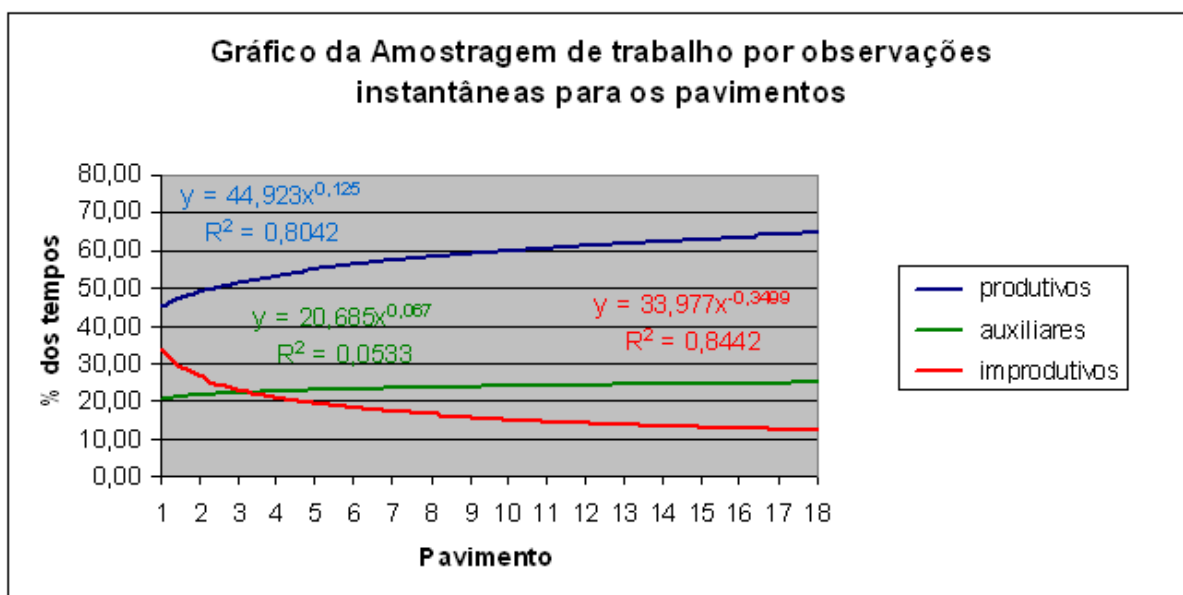


Figura 50 – Relação da amostragem de trabalho por observações instantâneas por pavimento seguindo os mesmos princípios dos gráficos de efeito aprendizagem.

De acordo com os gráficos das Figuras 49 e 50, pode-se notar que a porcentagem dos tempos produtivos parece, de certa forma, ter sofrido um “relativo aumento”, com algumas

variações para alguns pavimentos, que pode ser observado na equação exponencial e uma média, conforme já citado, de 58,17%. Para os tempos auxiliares, o gráfico de certa forma parece ter sofrido uma “relativa dispersão”, para os pontos observados e um “leve aumento” para a equação exponencial, principalmente após o 15º pavimento, com alguns pontos em falta de sintonia e uma média de aproximadamente 25% conforme já visto. Já para os tempos improdutivos, o gráfico parece ter diminuído a porcentagem à medida que se aumenta os pavimentos, tanto para os pontos de dispersão como para a equação exponencial, também com alguns pontos em falta de sintonia, com variações mínimas, mantendo, de certa forma, uma média conforme já visto de aproximadamente 17,50%.

Esta tendência observada, para o aumento dos tempos produtivos e diminuição dos tempos improdutivos explica, de certa forma, o que ocorre no efeito aprendizagem, ou seja, há um aumento significativo da produtividade no edifício conforme se aumenta a repetição. Esta falta de sintonia no gráfico e também uma compreensão de certa forma difícil é explicada pelo fato de que a coleta de dados da amostragem de trabalho foi feita uma vez por semana, ficando, de certa forma, mais “dispersa” do que se fossem coletados dados, por exemplo, diariamente, como foi feito para o número de homens-hora nos gráficos do efeito aprendizagem.

5. CONCLUSÕES

Verificou-se, nesta pesquisa, dentro de suas limitações e neste caso pesquisado, a existência do efeito aprendizagem na execução da estrutura de um edifício com característica repetitiva no modelo de equação adotada (onde se verificou coeficiente de determinação acima de 0,89 em todos os casos, considerando-se os valores médios até a repetição). Além disso, a taxa “S” geral para a estrutura do edifício pesquisado ficou dentro da literatura técnica, ou seja, 93%. Conclui-se, através desta pesquisa (dentro de suas limitações e condições observadas), que o efeito aprendizagem se faz presente e deve ser levado em conta no planejamento e programação de obras repetitivas.

Destaca-se que os serviços de desfôrmas e o de concretagem foram os que apresentaram um aprendizado menor. A concretagem normalmente é executada em um ou dois dias, ou até em horas, devido a isso não há muito o que “aprender” neste tipo de serviço, sendo um serviço rápido e por isso com aprendizagens menores. Na execução da desfôrma também foi observado que o aprendizado foi pouco, também, para execução deste serviço. Os serviços que apresentaram uma menor taxa “S” foram os de armaduras, e, logo após, fôrmas e escoras, o que significa que o aprendizado foi maior para o serviço de armaduras, e em segundo lugar, igualmente para fôrmas e escoras, que normalmente são observados como os serviços mais complexos na construção civil referente a estrutura de concreto armado.

Além disso, verificou-se nesta pesquisa que a redução do custo da mão-de-obra para a execução da estrutura deste edifício pesquisado, da última para a primeira repetição, foi de aproximadamente 50%, o que é um valor significativo e considerável. Devido a isto, surge a importância do conhecimento deste fenômeno para que a empresa possa estabelecer uma estratégia e um planejamento mais refinado para garantir sua competitividade no mercado.

Os serviços de armaduras apresentaram uma menor taxa “S”, significando que este serviço foi o mais complicado de todos os observados e o aprendizado foi maior. Isto se deve ao fato de que, apesar das armaduras serem dobradas e cortadas em centrais, observou-se, no canteiro, que as mesmas não estavam completas como constava no projeto estrutural, necessitando de alguns ajustes, colocação de espaçadores, armadura de pele em vigas e também de ancoragem no encontro das armaduras de pilares e vigas, além do transpasse (que é feito segundo a norma). Observou-se, em alguns casos, falta de armadura superior e negativa em vigas, necessidade de posicionamento correto das armaduras nas peças estruturais, entre outros. Devido a isso, este serviço foi o que mais sofreu complicação na execução, o que, conseqüentemente, levou a um maior aprendizado (menor taxa “S”).

Deve-se ressaltar, porém, que para um planejamento e controle adequado, podem existir outros fatores que podem influenciar nos resultados obtidos, que também devem ser levados em conta na tomada de decisão, como condições de tempo, fatores de construtibilidade como fator de facilidade/dificuldade de execução, organização do canteiro de obras, sistemas construtivos (como por exemplo existência ou não de grua), projetos racionalizados e com boas condições de apoio à execução dos serviços, maior ou menor continuidade da execução e tipo de laje como facilidade/dificuldade de execução da estrutura.

Apesar do estudo do modelo de curva de aprendizagem ter levado a correlações e discutido algumas situações, são necessários ainda outros estudos, como por exemplo que envolvam tempo e custos para que se tenha uma correta explicação dos parâmetros que permitam criar modelos preditivos mais precisos e confiáveis e também que contribuam no planejamento e programação de edifícios com características repetitivas. Neste sentido, o presente trabalho permitiu a apresentação de informações sobre produtividade, dados pouco enfocados e com poucas informações (com enfoque no que se refere a edifícios com características apresentadas nesta pesquisa) na literatura nacional da construção civil. A realização de estudos quantitativos sobre produtividade de obras é fundamental na obtenção de dados que possam validar os modelos preditivos de aprendizagem em obras repetitivas. Além disso, os dados de produtividade e os modelos preditivos podem levar a planejamento e programação de obras mais precisos e mais qualificados, e que venham a permitir o estabelecimento de índices mais confiáveis e de cunho mais estratégico a ser adotado pelas empresas para manutenção e melhoria da produtividade e qualidade de obras, como se busca atualmente nos programas de qualidade e produtividade existente em todo o país.

Conclui-se, ainda, dentro deste estudo realizado e nas limitações desta pesquisa, que há, de certa forma, uma co-relação entre a produtividade relacionada no efeito aprendizagem, pelo número de homens-hora com a amostragem de trabalho por pavimento observada, sendo que realmente ocorre um aumento de produtividade ao longo do processo em edifícios de caráter repetitivo confirmando o que estabelece a literatura.

Como existem poucas referências de produtividade em edifícios com características repetitivas em livros nacionais (como por exemplo a TCPO, que diz apenas sobre produtividade variável, porém não entra no âmbito da repetição e conseqüentemente no efeito aprendizagem), surge a importância do planejamento e controle com o enfoque que foi citado nesta pesquisa para uma melhor gestão de planejamento e controle por parte das empresas construtoras como forma de melhoria estratégica no mercado e aumento de competitividade no mercado, além da racionalização e qualidade nos processos.

Cabe ressaltar que os dados aqui encontrados foram obtidos para este edifício pesquisado, com as características aqui citadas, condições locais, na região especificada e para esta obra de estudo específica, podendo sofrer alterações devido a vários fatores existentes.

Por fim, um banco de dados de produtividade construído por uma empresa que atua em uma atividade de grande repetição é de grande valia, desde que se saiba traduzir os custos do passado em custos do futuro. Quando bem construído, este banco de dados relativo aos consumos permite fazer planejamento estratégico de nivelamento de recursos com mais competência e, conseqüentemente, obter grandes economias e redução de desperdício. De forma geral, todas as empresas que constroem deveriam sempre fazer seu banco de dados, independente da repetitividade.

REFERÊNCIAS

ADRIAN, J. J. **Construction productivity improvement**. New York, Elsevier Science Publishing Co, Inc., 1987.

ADUAGYEI, F.; RUWANPURA, J. Y. (2008). **“Optimization of Resources in Construction Work area through Effective Process Planning”**. Proceedings of the CSCE Annual Conferences, Quebec City, QC.

AMORIM, S. R. L. de. **O sistema de indicadores de qualidade e produtividade do clube da construção do Rio de Janeiro: novas ferramentas para a gerência do canteiro**. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v.2, p. 723-729, Florianópolis, 1998.

ARCUDIA-ABAD, C. E.; SOLÍS-CARCAÑO R. G.; CUESTA-SANTOS, A. R. **Propuesta tecnológica para incrementar la productividad en la construcción masiva de vivienda**. INGENIERÍA Investigación y Tecnología, VIII. 2. 59-69, 2007.

ARDITI, D.; ALBULAK, M. Z. Line of-Balance Scheduling in Pavement Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, Vol. 112, N. 3, p. 411-424, 1986 apud MENDES JÚNIOR, R. **Programação da Produção na Construção de Edifícios de Múltiplos Pavimentos**. Florianópolis, 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina.

ASSUMPÇÃO, J. F. P. **Programação de obras: uma abordagem sobre técnicas de programação**. São Carlos. 143 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1988.

ANZANELLO, M.; FOGLIATTO, F. **Learning curve modeling of work assignment in mass customized assembly lines**. International Journal of Production Research, London, Aguardando publicação, 2006.

ANZANELLO, M.; FOGLIATTO, F. **Curvas de aprendizado: estado da arte e perspectivas de pesquisa**. Revista Gestão & Produção, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 221-234, 2007.

BADRA, P. A. **Plano certo**. Guia da Construção, v.61, n.85, p. 10-13, Pini, 2008.

BARNES, R. M. **Estudo de Movimentos e Tempos: Projeto e Medida do Trabalho**. São Paulo: Edgard Blusher, 6ª Ed, 1995.

BIOS GROUP INC. **Learning curves**. Obtida via internet. <http://www.biosgroup.com/research/curves/curves.html>, 2000.

CANADA RESEARCH CHAIR OF PROJECT MANAGEMENT SYSTEMS (CRCPM), <<http://www.wcmprod2.ucalgary.ca/crcpm/research/productivity>> (April 17, 2009).

CARRARO, F. **Produtividade da mão-de-obra no serviço de alvenaria**. São Paulo, dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo, 1998. 226p.

CARRARO, F.; SOUZA, U. E. L. **Monitoramento da produtividade da mão-de-obra na execução da alvenaria: um caminho para otimização do uso dos recursos.** In: Congresso Latino-Americano Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Soluções para o Terceiro Milênio, 1998, São Paulo. Anais. São Paulo : PCC-USP, 1998. v. 1. p. 191-298.

CARVALHO, L. O.; HEINECK, L. F. M.; JUNGLES, A. E. **Uma metodologia para obtenção de constantes orçamentárias utilizando a técnica da amostragem do trabalho.** In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Florianópolis-SC, 2004.

CONSTRUBUSINESS/99. **Habitação, Infra-estrutura e Emprego. 3º Seminário da Indústria Brasileira de Construção.** FIESP/CIESP. São Paulo, 1999.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. (1996). **Just in Time, MRP II e OPT: Um Enfoque Estratégico.** 2.ed. São Paulo, Atlas.

COSTELLA, M. F.; GUIMARÃES, L. B. M.; KMITA, S.; SAURIN, T. A. **Diagnóstico macroergonômico nas centrais de produção de uma usina hidrelétrica.** In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, p. 2023-2032, Foz do Iguaçu, 2002.

CRUZ, T. **Workflow: A Tecnologia que vai revolucionar os processos.** São Paulo: Atlas, 1998. 222p.

DAVIS, H. **A Mathematical Evolution of a Work Sampling Technique.** Naval Research Quarterly, vol.2, n. 1 e 2, mar-jun, 1955, p. 11-117.

DEMEESTER, L.; QUI, M. **Managing Learning Resources for Consecutive Product Generations,** International Journal of Production Economics, New York, v. 95, n. 1, p. 265-283, 2005.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências.** São Paulo: Ed. Thomson, 1a Ed. 2006.

ELDIN, N. N.; EGGER, S. Productivity Improvement Tool: Camcorders. **Journal of Construction Engineering and Management**, Vol. 116, No. 1, March 1990, pp. 100-111, (10.1061/(ASCE)0733-9364(1990)116:1(100)).

FABRÍCIO, M. M. **Processos Construtivos Flexíveis: projeto da produção.** São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1996.

FARGHAL, S. H.; EVERETT, J. G. Learning curves: accuracy in predicting future performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 123, n. 1, p. 41-45, mar. 1997.

FORESE, T. WAUGH, L.; P. A. **Project Management in the year 2020.** In: Anual Conference of the Canadian Society for Civil Engineers, 2001. Victoria, Canadá. Proceedings. Victória, 2001.

GATES, M. F.; SCARPA, M. A. Learning and experience curves. **Journal of the Construction Division**, v. 98, n. CO1, p. 79-99, mar. 1972.

GEHBAUER, F. EGGENSPERGER, M., NEWTON, S. A. **Planejamento e Gestão de Obras**. Editora CEFET-PR. Curitiba, 2002. 1ª Ed.

GUERRINI, F. M. **Um Sistema de Administração de Produção para empresas de pequeno e médio porte de construção civil**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1997.

GUERRINI, F. M.; SACOMANO, J. B. **Gestão de rede de suprimentos integrada a um sistema de administração de produção para empresas de construção civil**. In: XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 8p, Salvador, 2001.

HAN, S. W. **Apparatus of analyzing the construction productivity using rift based on the wireless communication and method thereof**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 123, n. 1, p. 41-45, mar. 2009.

HANEIKO, J. B.; HENRY, W.C. (1991). **“Impacts to Construction Productivity.”** Proceedings of the American Power Conference, Vol. 53-II, pp. 897-900.

HANNULA, M. **Productivity Measurement Methods at the Firm Level, Research Report**, Institute of Industrial Management, Tampere University of Technology, 1998.

HANNULA, M. **Expedient Total Productivity Measurement**, Dissertation thesis, Tampere University of technology: Espoo, 1999.

HEINECK, L. F. M. **On the analysis of the duration of activities in three house building sites**, Tese de Doutorado apresentada ao Department of Civil Engineering of Leeds, 1983.

HEINECK, L. F. **Efeito aprendizagem, efeito continuidade e efeito concentração no aumento da produtividade na alvenaria**. Anais do III Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil, Florianópolis-SC, 1991.

HOLANDA, É. P. T. **Novas Tecnologias construtivas para produção de vedações verticais: diretrizes para o treinamento da mão-de-obra**. São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo.

JERGEAS, G. F. (2008). **“Analysis of the Front-End Loading of Alberta Mega Oil Sands Projects.”** Project Management Journal, 39 (4), 95-104.

KARAOZ, M.; ALBENI, M. **Dynamic Technological Learning Trends in Turkish Manufacturing Industries**, Technological Forecasting and Social Change, Netherlands, v. 72, n. 7, p. 866-885, 2005.

KELLOGG, J. C., TAYLOR, D. C., HOWELL, G. E. **Hierarchy Model of Construction Productivity**. Journal of the Construction Division, Vol. 107, No. 1, March 1981, pp. 137-152.

LANTELME, E. M. V. **Proposta de um sistema de indicadores de qualidade e produtividade para a construção civil. 1994**. 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação. Programa de Pós Graduação em

Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

LEÃO, S. M. C. **Medição de indicadores para o serviço de alvenaria.** In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1997, Gramado. Anais do XVII ENEGEP. Gramado, 1997.

LEITE, M. O. **A utilização das curvas de aprendizagem na construção civil.** 2002. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

LEITE, M. O.; POSSAMAI, O., HEINECK, L. F. M. **A utilização das curvas de aprendizagem no planejamento da Construção Civil.** In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2004. Florianópolis. *Anais*. Florianópolis: XXIVENEP, 2004.

LIBRELOTTO, L. I.; MUTTI, C. do N.; OLIVEIRA, P. V. H. de. **Análise do emprego dos tempos de mão de obra utilizando a técnica de amostragem do trabalho.** In: VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v.1 p.397-404, Salvador, 2000.

LIMMER, C. V. **Planejamento, Orçamento e Controle de Projetos e Obras.** Editora LTC. Rio de Janeiro, 1996. 1ª Ed.

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; SOUZA, U E L. **Produtividade da mão de obra no serviço de alvenaria de vedação.** In: Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e organização do Trabalho, 1999, Recife. *Anais do I SIBRAGEQ*. Recife, 1999.

MACHADO, R. R.; LEAL, J. R.; FRISTCHE, C. **Medição de produtividade na construção civil através da técnica da amostragem do trabalho.** In: Congresso Técnico-científico de Engenharia Civil, 1996. Florianópolis, 1996.

MARCHIORI, F. F. **Estudo da produtividade e da descontinuidade no processo produtivo da construção civil: um estudo de caso para edifícios altos.** Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Centro de Tecnologia, Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 1998.

MARTUCCI, R. **Projeto Tecnológico para Edificações Habitacionais: Utopia ou Desafio?** São Paulo. 438p. Tese de Doutorado - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1990.

MARUOKA, L. M. A.; SOUZA, U. E. L. **Avaliação da produtividade da mão de obra na produção de contrapiso: um estudo de caso.** In: Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho, 1999, Recife. *Anais do I SIBRAGEQ*. Recife, 1999.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção.** Editora Saraiva. São Paulo, 2006. 2ª Ed.

MATOS, A. D. **Plano certoiro.** Guia da Construção, v.61, n.85, p. 10-13, Pini, 2008.

MAUÉS, L. M. F. **Diagnóstico do processo produtivo em centrais de montagens de componentes: um estudo de caso.** In: XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 6p, Piracicaba, 1996.

MEKBEKIAN, G.; SOUZA, R.; SILVA, M.A.C.; LEITÃO, A.C.M.T., SANTOS, M.S. **Sistema de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras.** São Paulo. PINI, 1995.

MELHADO, S.B. **O Processo de Projeto no Contexto da Busca de Competitividade.** In: Seminário Internacional: Gestão e Tecnologia na Produção de Edifícios – São Paulo, 1997.

MELHADO, S. B. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios.** 2001. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

MENDES JÚNIOR, R. **Programação da Produção na Construção de Edifícios de Múltiplos Pavimentos.** Florianópolis, 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina.

MOREIRA, M.; BERNARDES, S. **Plano certo.** Guia da Construção, v.61, n.85, p. 10-13, Pini, 2008.

NASCIMENTO, V. M.; CRUZ, A. L. G.; ABREU, A. F. **O sistema de comunicação e a gestão dos fluxos logísticos na Construção Civil: estudo aplicado ao gerenciamento dos processos empresariais.** In: Encontro Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, 2000. Salvador. Anais. Salvador, ANTAC, 2000. v. 1, p. 580-587.

NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. **A indústria da construção na era da informação.** Ambiente construído (Revista da Antac). Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 69-81, jan./mar., 2003.

NEWTON, P. **Diffusion of IT in the Building and Construction Industry.** In: Building for Growth Innovation Forum, 1998. Sydney. Proceedings. Sidney: ITR, 1998. Disponível em: <<http://www.isr.gov.au/industry/building/invforum/>> Acesso em: 16 set. 2002.

OLIVEIRA, R. R.; DALL'OGGIO, S.; HAMERSKI, A.; MARTINI, C. E. **Estudo de fatores que afetam a produtividade em obras repetitivas.** In: Congresso Latino-Americano de Tecnologia e Gestão da Produção de Edifícios, 1998. São Paulo. Anais. São Paulo: CLATGPE, 1998.

OLOMOLAIYE, P. O. **An evaluation of the relationships between bricklayers' motivation and productivity.** Construction Management and Economics, Volume 8, Issue 3 Autumn 1990 , pages 301 – 313.

PARK, H. S.; THOMAS, S. R.; TUKER, R. L. **Benchmarking of Construction Productivity.** J. Constr. Energy and Mgmt. Volume 131, Issue 7, pp. 772-778 (July 2005).

PICCHI, F. A. **Sistemas de Qualidade: Uso de Empresas de construção de Edifícios.** 1993. 482p. Tese (doutorado) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

PINIWEB [online]. **Enquete discute soluções para a falta de mão-de-obra na construção civil brasileira.** Disponível na internet via assinatura por correio eletrônico:

rafengenheiro@hotmail.com: http://www.piniweb.com.br//construcao/carreira-exercicio-profissional-entidades/enquetes-virtuais-discutem-solucoes-para-a-falta-de-mao-de-159132-1.asp?utm_source=Virtual+Target&utm_medium=email&utm_content=PINIweb.com.br+%7C%20Enq&utm_campaign=NL+PW+23%2F12&utm_term=rafengenheiro@hotmail.com, capturado em 23/12/2009.

PINIWEB [online]. **Construtoras deverão se certificar no PBQP-H para participar do PAC e do Minha Casa, Minha Vida.** Disponível na internet via assinatura por correio eletrônico: http://www.piniweb.com.br//construcao/habitacao/construtoras-deverao-se-certificar-no-pbqp-h-para-participar-do-pac-170045-1.asp?utm_source=Virtual+Target&utm_medium=email&utm_content=PINIweb.com.br+%7C%20Con&utm_campaign=NL+PW+22%2F04%2F2010&utm_term=rafengenheiro@hotmail.com capturado em em 23/04/2010.

PINIWEB [online]. **Profissão passa por processo de valorização e mudanças; conheça os atuais desafios da função e o novo perfil demandado pelas empresas.** Disponível na internet via assinatura por correio eletrônico: <C:\Documents and Settings\user\Desktop\Guia da Construção Carreira - O futuro dos orçamentistas.mht> capturado em em 23/04/2010.

POMERANZ, L. **Elaboração e Análise de Projetos.** São Paulo: Hucitec, 1988.

PÓVOAS, Y. V.; SOUZA, U. E. L.; JOHN, V. M. **Produtividade no assentamento dos revestimentos cerâmicos.** In: Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho, 1999, Recife. Anais do I SIBRAGEQ. Recife, 1999.

PRODUCTIVITY ALBERTA (2008). <<http://www.albertacanada.com/productivity/about>> (Ago, 12, 2010).

RSMEANS. **RsMeans Building Construction Cost Data.** R. S. Means Company, 2008. 837p.

SANTOS, A. **Medição de produtividade em canteiros utilizando a técnica da amostragem do trabalho.** In: Gestão da Qualidade na Construção Civil: uma abordagem para empresas de pequeno porte, cap.8, p. 197-222, il. Porto Alegre, 1995.

SANTOS, M. T. S.; MOCCELLIN, J. V. **O projeto da produção e a programação integrados a um sistema de administração da produção voltado para a construção civil.** In: XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1999, Rio de Janeiro - RJ. ANAIS CD-ROM: XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP 99, 1999.

SANTOS, A. **Método de intervenção para redução de perdas na construção civil: manual de utilização.** 2ª Edição. 104 p. SEBRAE, Porto Alegre, 2000.

SANTOS, M. M. **Plano certo.** Guia da Construção, v.61, n.85, p. 10-13, Pini, 2008.

SCARDOELLI, L. S.; BICCA, I.; FORMOSO, C. T. **Estudo piloto de medição de produtividade com utilização da técnica de amostragem do trabalho.** In: V International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, p. 509-518, Florianópolis, 1994.

SCHMITT, C. M. **Documentação de projetos para edificação: solução para este quebra-cabeças.** In: Encontro Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, 1993. São Paulo. Anais. São Paulo: ANTAC, 1993, v.2, p. 637.

SILVA, D.; FILHO, J. B. **Estatística e suas aplicações.** São Paulo: Ed. Saraiva, 3a Ed. 2000.

SINDUSCON-PR. **Sindicato da Indústria da Construção Civil do Paraná.** Índices de Custo da mão-de-obra, 2010 Disponível em: <http://www.sinduscon-pr.com.br/principal/home/?sistema=conteudos|conteudo&id_conteudo=290> Acesso em: 20/05/2010.

SOIBELMAN, L.; CALDAS, C. H. S. **Avaliação da Logística de Informação em processos inter-organizacionais na construção civil.** In: Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização Trabalho no Ambiente Construído, 2001. Fortaleza. Anais. Fortaleza, ANTAC, 2001, CD-ROM.

SOUZA, U. E. L. **Metodologia para o estudo da produtividade da mão de obra no serviço de formas para estruturas de concreto armado.** São Paulo, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – 116p. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SOUZA, U.E.L., CARRARO, F. (1999) **Understanding blockwork labor productivity: the factor model approach.** Managing the construction project and managing risk CIB W-65 The organization and management of construction: shaping theory and practice 8th International Symposium, E. & F.N. Spon, London, pp.14-26.

SOUZA, U. E. L. **Como medir a produtividade da mão-de-obra na construção civil.** In: VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2000, Salvador. *Anais.* Salvador: ANTAC, 2000.

STEWART, R. A.; MOHAMED, S.; DAET, R. **Strategic implementation of IT/IS projects in construction: a case study.** Automation in construction. Oxford, v.11, p. 681-694, 2002.

TCPO 2003 – Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos. 12ª Edição. São Paulo: Ed. Pini Ltda. 2003, v.1.

TEICHOLZ, P. **Productivity Trends in the Constructions Industry.** In: Internacilnal Conference Artificial Intelligence and Symbolic Computation, 2000. Madrid. Theory, Implementations a nd Application: presentations. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2000.

THABET, W. Y; BELIVEAU, Y. J. Modeling Work Space to Schedule Repetitive Floors in Multistory Buildings. **Journal of Construction Engineering and Management**, Vol. 120, No. 1, March 1994, pp. 96-116.

THOMAS, H. R.; YAKOUMIS, I. (1987) **Factor model of construction productivity.** **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, Vol.113, No.4. pp.623-39.

THOMAS, H. R.; MATHEWS, C. T.; WARD, J. G. Learning Curve Models of Construction Productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**, Vol. 112, No. 2, June 1986, pp. 245-258.

THOMAS, H. R. **Construction Learning Curves**. Practice. Periodical on Structural. Design and Construction Volume 14, Issue 1, pp. 14-20 (February 2009)

TOLEDO, R.; ABREU, A. F.; JUNGLES, A. E. **A difusão de inovações tecnológicas na indústria da Construção civil**. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 2000. Bahia. Anais. Bahia: ANTAC, 2000.

TZORTZOPOULOS, P. **Contribuições para o desenvolvimento de um modelo do processo de projeto de edificações em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Núcleo Orientado para Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

UUSI-RAUVA, E.; HANNULA, M. **Measurement – A Tool for Productivity Improvement**. 1996. 9a International Working Seminar on Production Economics. Innsbruck, pp.13 – 29.

UUSI-RAUVA, E. **Yleiskatsaus mittausmenetelmiin. In Tuottavuus – mita ja menesty**. 1996. Uusi-Rauva, Ed. Vantaa, pp. 41-74.

VALLE, R. (1991). **Tecnologia, estratégia, cultura técnica: três dimensões para a modernização da indústria brasileira** - LCNPA - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

WANNAWIT, T. **Using Learning Curve Models to Estimate Labor Time**. In: Internacilnal Conference Artificial Intelligence and Symbolic Computation, 2009. Madrid. Theory, Implementations and Application: presentations. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2009.

ANEXOS

Anexo B – Planilha de coleta de dados de amostragem de trabalho

PLANILHA DE COLETA DE DADOS DE AMOSTRAGEM DE TRABALHO				
DIA: 09/05/2009		PAVIMENTO: 3º Pavimento		
OPERÁRIOS E FUNÇÕES		CATEGORIA DO TEMPO		
		PRODUTIVO	IMPRODUTIVO	AUXILIAR
PEDREIROS	FUNCIONÁRIO A	x		
	FUNCIONÁRIO B		x	
	FUNCIONÁRIO C	x		
	FUNCIONÁRIO D			x
	FUNCIONÁRIO E	x		
CARPINTEIROS	FUNCIONÁRIO A	x		
	FUNCIONÁRIO B			x
	FUNCIONÁRIO C	x		
	FUNCIONÁRIO D		x	
	FUNCIONÁRIO E	x		
ARMADORES	FUNCIONÁRIO A	x		
	FUNCIONÁRIO B		x	
	FUNCIONÁRIO C	x		
	FUNCIONÁRIO D	x		
	FUNCIONÁRIO E			x
SERVENTES	FUNCIONÁRIO A	x		
	FUNCIONÁRIO B		x	
	FUNCIONÁRIO C		x	
	FUNCIONÁRIO D	x		
	FUNCIONÁRIO E			x
INFORMAÇÕES SOBRE OS TEMPOS DE TRABALHO:				
Categoria de tempo	Operações típicas			
PRODUTIVOS	Atividades de montagem (Fôrma, armaduras, escoras), desfôrma e concretagem			
IMPRODUTIVOS	Necessidades fisiológicas, paradas sem justificativas, refeições fora de horário, falta de materiais, paradas devido à chuva e deslocamentos			
AUXILIARES	Preparação da cancha de trabalho, montagem de andaimes, preparação do material a ser empregado, consulta em projetos, conversas com o mestre-de-obras e colegas para receber instruções, transporte de material, busca de ferramenta, limpeza do local de trabalho e das ferramentas			