

REPETIÇÃO E PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DA EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS

Ricardo Rocha de Oliveira

Professor da UNIOESTE - Universidade do Oeste do Paraná
Rua Universitária, 2069 - Fone (045)225-2100r.232 - 85814-110 - Cascavel - Pr.

***ABSTRACT:** The time required to perform a given process in a repetitive construction environment tends to fall progressively as the same process is repeated for a sufficient number of successions. This paper discusses the use of one mathematical model to predict productivity to construction high-rise buildings, one particular sort of repetitive project. Data collected as part of an ongoing construction productivity study is used to analyze the mathematical model. Time data of three high-rise buildings is used to support the conclusion that the straight-line model is a reliable model for predicting future performance.*

keywords: productivity, repetitive construction, learning curves

1. APRESENTAÇÃO

1.1 Introdução

Nos últimos anos o estudo da produtividade de obras vem ganhando espaço na literatura nacional. Observa-se na construção civil, um intenso movimento no desenvolvimento de programas de qualidade e produtividade. Exemplos desse movimento em direção à qualidade e à produtividade estão em parcerias de entidades, sindicatos de empresas construtoras e outros órgãos, tais como: Programa da Qualidade e Produtividade na Construção Civil do Rio Grande do Sul⁽¹⁾, Clube da Qualidade da Construção do Rio de Janeiro⁽²⁾ e Sistema de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras do Sinduscon/São Paulo⁽³⁾. A busca de indicadores de qualidade e produtividade é um dos principais pontos enfatizados em todos esses programas. Apesar do esforço no sentido da busca de indicadores, é praticamente inexistente na literatura nacional trabalhos sobre índices e comportamento da produtividade de obras brasileiras.

As obras de caráter repetitivo são um caso especial, apresentando diversos estudos e artigos a nível de literatura internacional. Nestas obras surge um fenômeno, denominado efeito aprendizagem, o qual possibilita aumentos expressivos de produtividade, através da repetição da execução dos serviços da obra.

Este artigo apresenta um trabalho desenvolvido por uma linha de pesquisa no NIT (Núcleo de Inovações Tecnológicas) da UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. O projeto de pesquisa que originou o trabalho se denomina **Metodologia para Melhoria da Qualidade e Produtividade em Obras de Caráter Repetitivo**. Este projeto tem financiamento do FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, órgão do Ministério da Ciência e Tecnologia-MCT. O artigo descreve uma parte do trabalho desenvolvido até aqui, concentrando-se na execução de estruturas de concreto armado em edifícios na cidade de Cascavel, Paraná. Através dos estudos de dados sobre produtividade levantados em três

prédios desta localidade, se desenvolve um trabalho referente a aplicação de curvas de aprendizagem na execução de serviços de construção.

1.2 Objetivo e Importância do tema

O objetivo do artigo é verificar o comportamento quanto à produtividade de obras de caráter repetitivo, através de estudos de casos. Busca-se verificar se o comportamento quanto ao aumento de produtividade pode ser modelado por curvas clássicas, apresentadas na literatura sobre este assunto na construção civil^(4,5).

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

1. O conhecimento da produtividade das obras é importante para estimar os custos de projetos futuros. A medição da produtividade de obras passadas é provavelmente a melhor forma de estimar os custos de futuros projetos;
2. A determinação da produtividade é fundamental para se ter parâmetros para planejar obras;
3. O levantamento sistemático de índices de produtividade é vital para programas de intervenção e melhoria dos processos produtivos.

2. CONCEITOS SOBRE PRODUTIVIDADE E REPETIÇÃO

2.1 Conceitos sobre produtividade

Produtividade é a quantidade de bens ou serviços produzidos por um fator de produção, ou seja, é a relação entre produtos ou serviços e insumos. A produtividade é mensurada através de índices obtidos da razão entre uma determinada quantidade física de produção e o tempo de duração do trabalho para realizá-la.

Os índices de produtividade são utilizados para o controle de eficiência, através da comparação de valores referenciais (índices históricos do setor, índices históricos da empresa, índices objetivos do projeto).

Na construção civil estes índices são medidos normalmente através do inverso do mencionado acima, ou seja, homens-hora gastos na execução de um serviço - tais como homens-hora por m² de alvenaria - ou no produto como um todo - tais como homens-hora por m² de obra.

2.2 Repetição e aprendizagem

É fenômeno conhecido que a repetição de uma tarefa, o treinamento e aprendizagem na sua execução, enfim a experiência, conduzem a um melhor desempenho, ou seja, em aumento da produtividade⁽⁶⁾. Várias são as razões que explicam o efeito aprendizagem: (1) familiarização com o trabalho; (2) melhoria da coordenação da equipe e dos equipamentos; (3) melhoria na coordenação do trabalho; (4) melhor gerenciamento e supervisão no dia-a-dia; (5) desenvolvimento de melhores métodos de execução; (6) melhores formas de suprimento às tarefas; e (7) menores alterações nos trabalhos e redução de retrabalho⁽⁷⁾.

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⁽⁶⁾.

Vários pesquisadores desenvolveram modelos matemáticos, ou curvas de aprendizagem, que descrevem a variação da produtividade em função do número de unidades produzidas. Estas curvas podem ser observadas em diversos trabalhos^(4,5 e 7). Os principais pontos na teoria das curvas de aprendizagem são: (1) Determinar um modelo preditivo; (2) compreender os fatores que afetam a taxa de aprendizagem; e (3) estimar os parâmetros do modelo.

A curva mais usada e aceita na construção civil é apresentada abaixo:

$$Y_X = aX^{-n}$$

Nesta fórmula: Y_X = tempo para executar a x-ésima unidade; a = tempo para executar a primeira unidade; X = número de ordem da repetição; e n = fator que depende da intensidade de aprendizagem possível em cada tipo de operação. Este fator n está associada a uma porcentagem de redução do tempo médio de execução de uma unidade, quando se dobra o lote de produção. Esta porcentagem é chamada de Lei de aprendizagem e estabelece a inclinação da curva. Quanto menor a porcentagem da Lei de aprendizagem, 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 Lei de aprendizagem de 95%.

O presente trabalho tem o objetivo de estudar alguns casos, e verificar a validade do modelo apresentado acima, para execução de estruturas de concreto armado em edifícios de vários pavimentos.

3. COLETA DE DADOS

3.1 Descrição geral

Os dados foram obtidos em três edifícios de vários pavimentos, construídos na cidade de Cascavel, Paraná. Os edifícios serão identificados neste trabalho por números: Edifício 1, Edifício 2 e Edifício 3. A construtora responsável pela execução das obras é a mesma. Todos os prédios apresentam estrutura em concreto armado. Os serviços que sofreram medição de produtividade são: execução de formas (incluindo montagem e desforma apenas), montagem de armaduras e concretagem. A fabricação das formas não é considerada no estudo. As armaduras eram cortadas, dobradas e pré-montadas em centrais, restando apenas a colocação e montagem final nas formas. O concreto era adquirido em centrais, cabendo às obras o transporte interno, lançamento e adensamento. A empresa construtora manteve um sistema executivo similar em todos os edifícios, sendo que a equipe montada para executar a estrutura realizava todas as tarefas em conjunto, ou seja, a equipe se envolvia na montagem da forma, montagem de armaduras, concretagens, desformas e demais serviços envolvidos na execução da estrutura. Os Edifícios 1 e 2 foram executados por uma mesma equipe, que se deslocava de uma obra para a outra, visto que estas eram próximas, intercalando-se a execução das lajes. O Edifício 3 foi executado por outra equipe. Em todos os prédios eram mantidas as dimensões dos pilares, sendo que se adotava dois valores para o f_{ck} (20 e 25 Mpa). As quantidades físicas de formas e concretos sempre eram mantidas nos pavimentos estudados. Havia alterações na quantidade de armaduras, que foram desprezadas no trabalho.

3.2 Descrição das obras e dados sobre produtividade

Descreve-se a seguir, cada uma das obras:

a) Edifício 1: Prédio comercial e residencial composto de subsolo para garagens, térreo (galeria comercial), 16 pavimentos tipo (composto por 6 kitinetes) e pavimento de cobertura. O estudo do trabalho se concentra nos pavimentos tipo, com área de 215,99 m² cada. A estrutura a executar pode ser classificada de boa construtibilidade, pois era composta de lajes sempre retangulares, pilares e vigas comuns, todas locadas em dois eixos perpendiculares. Esta obra contava com grua e apresentava boas condições de organização do canteiro.

b) Edifício 2: Prédio comercial composto de 2 torres para salas comerciais. O levantamento de dados foi feito na 1ª etapa do projeto, na construção de uma das torres. Esta 1ª etapa é composta de 3 subsolos para garagens, térreo e mezanino para galeria de lojas, 16 pavimentos tipo (para 4 salas comerciais) e 17º pavimento para restaurante. O estudo do trabalho se concentra nos pavimentos tipo, com área de 201,15 m² cada. O projeto era composto por alguns elementos que dificultavam a construtibilidade: existiam diversas lajes não retangulares, haviam vigas e pilares em ângulos, adotou-se em duas fachadas vigas invertidas e detalhes que dificultavam a montagem de formas e concretagens. A obra não contava com grua, sendo que o transporte vertical era feito somente por guincho. As condições de organização do canteiro não eram as ideais, havendo pouco espaço para posicionar as instalações, devido ao projeto tomar praticamente todo o terreno.

c) Edifício 3: Prédio exclusivamente residencial composto de subsolo para garagens, térreo, 15 pavimentos tipo (com 2 apartamentos) e pavimento de cobertura. O estudo se concentra nos pavimentos tipo, com área de 284,90 m². A construtibilidade do projeto é próxima a do Edifício 1, com lajes sempre retangulares, pilares e vigas comuns, todas locadas em dois eixos perpendiculares. Cabe ressaltar apenas uma sacada, com viga e laje em forma de um quarto de círculo, como fator de aumento da complexidade de execução. As condições de organização do canteiro eram boas. Esta obra também não contava com grua, utilizando-se de guincho para o transporte vertical.

Os dados coletados dessas obras estão apresentados nas tabelas 1, 2 e 3. A estrutura das tabelas é sempre igual. Na coluna (1) apresenta-se o pavimento, na coluna (2) o consumo total de mão-de-obra (homens-hora ou hh) no pavimento para executar a estrutura daquele pavimento. Na coluna (3) apresenta-se o gasto de mão-de-obra em termos de homens-hora consumido por m² de projeção do pavimento. Na coluna (4) apresenta-se o consumo médio de mão-de-obra até a x-ésima repetição. Na coluna (5) demonstra-se o valor médio até aquele pavimento de mão-de-obra consumido por m² de projeção. Os valores expressos nas colunas (3) e (5) nos permitem um índice para comparação entre os edifícios

Pavimento (1)	hh consumido no pavimento (2)	hh/m² (3)	hh médio até a repetição (4)	hh/m² médio até a repetição (5)
01	1.137	5,26	1.137	5,26
02	936	4,33	1.037	4,80
03	1.006	4,66	1.026	4,75
04	1.109	5,13	1.047	4,85
05	944	4,37	1.026	4,75
06	881	4,08	1.002	4,64
07	785	3,63	971	4,50
08	772	3,57	946	4,38

09	883	4,09	939	4,35
10	736	3,41	919	4,25
11	701	3,25	899	4,16
12	698	3,23	882	4,09
13	783	3,63	875	4,05
14	643	2,98	858	3,97
15	770	3,56	852	3,95
16	616	2,85	838	3,88

Tabela 1 - Consumo de mão-de-obra na execução da estrutura do Edifício 1

Pavimento (1)	hh consumido no pavimento (2)	hh/m ² (3)	hh médio até a repetição (4)	hh/m ² médio até a repetição (5)
01	2.218	11,03	2.218	11,03
02	1.311	6,52	1.765	8,77
03	1.197	5,95	1.575	7,83
04	1.223	6,08	1.487	7,39
05	1.223	6,08	1.434	7,13
06	1.417	7,04	1.432	7,12
07	1.195	5,94	1.398	6,95
08	1.061	5,27	1.356	6,74
09	958	4,76	1.311	6,52
10	1.077	5,35	1.288	6,40
11	1.164	5,79	1.277	6,35
12	1.038	5,16	1.257	6,25
13	1.170	5,82	1.250	6,22
14	934	4,64	1.228	6,10
15	862	4,29	1.203	5,98
16	1.211	6,02	1.204	5,98

Tabela 2 - Consumo de mão-de-obra na execução da estrutura do Edifício 2

Pavimento (1)	hh consumido no pavimento (2)	hh/m ² (3)	hh médio até a repetição (4)	hh/m ² médio até a repetição (5)
01	2.952	10,36	2.952	10,36
02	1.714	6,02	2.333	8,19
03	818	2,87	1.828	6,42
04	1.008	3,54	1.623	5,70
05	946	3,32	1.488	5,22
06	906	3,18	1.391	4,88
07	862	3,03	1.315	4,62
08	783	2,75	1.249	4,38
09	1.153	4,05	1.238	4,35
10	1.012	3,55	1.215	4,27
11	1.074	3,77	1.203	4,22
12	1.135	3,98	1.197	4,20
13	898	3,15	1.174	4,12

14	994	3,49	1.161	4,08
15	801	2,81	1.137	3,99

Tabela 3 - Consumo de mão-de-obra na execução da estrutura do Edifício 3

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO OBTIDOS DA ANÁLISE DOS DADOS

Os dados apresentados anteriormente foram analisados através de gráficos e regressões obtidos pelo programa Excel 5.0. Optou-se por apresentar neste artigo os gráficos e regressões com os valores de consumo médio de mão-de-obra por m² de projeção até a repetição, obtidos da coluna 5 das tabelas. Esses valores permitem a criação de índices de referência, facilitando comparações entre os serviços executados. Os gráficos e regressões estão apresentados nas Figuras 1 e 2.

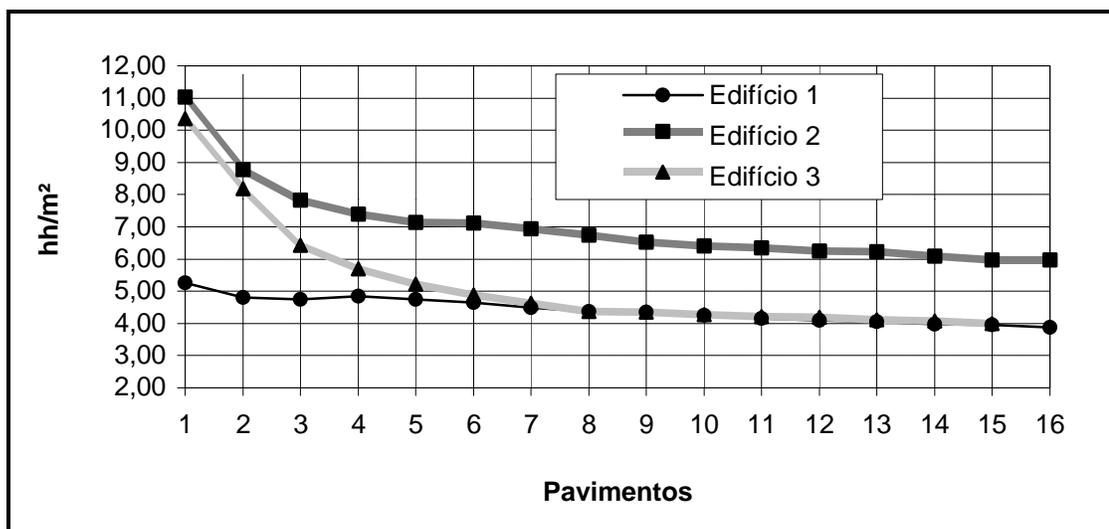


Figura 1 - Dados sobre consumo de mão-de-obra na execução da estrutura dos prédios

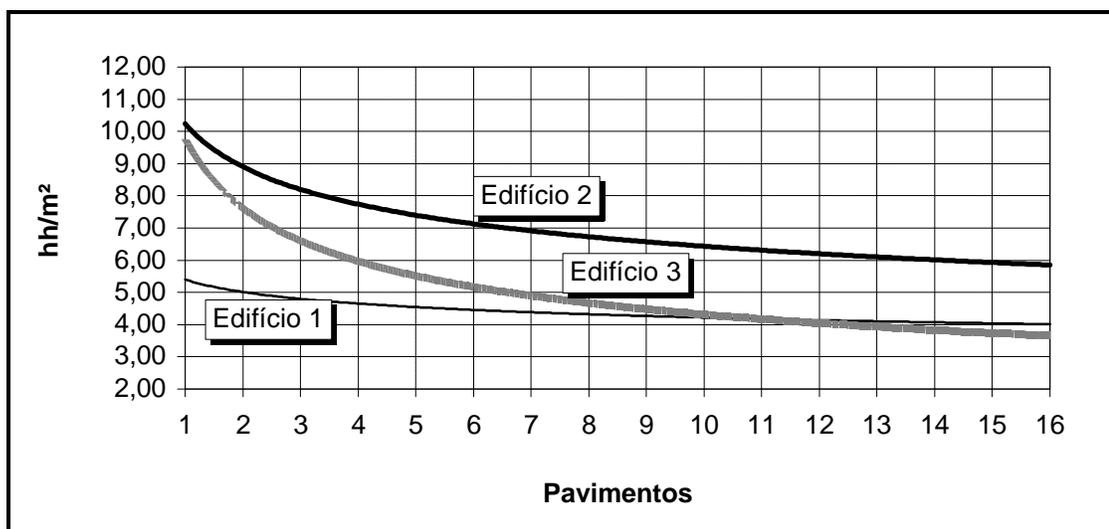


Figura 2 - Regressões sobre consumo de mão-de-obra na execução da estrutura dos prédios

As equações obtidas no ajuste, bem como os coeficientes de determinação e as Leis de aprendizagem das curvas ajustadas estão apresentadas a seguir, na tabela 4.

Edifício	Equação	R ²	Lei de aprendizagem
----------	---------	----------------	---------------------

1	$Y_X = 5,3989 X^{-0,1070}$	0,9005	93%
2	$Y_X = 10,234 X^{-0,2016}$	0,9674	87%
3	$Y_X = 9,7557 X^{-0,3540}$	0,9654	78%

Tabela 4 - Equações e parâmetros das regressões

3.1 Discussão

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 dos edifícios estudados teve uma boa adequação, com coeficientes de determinação superiores a 0,90.

As Leis de Aprendizagem 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 95% para a execução de estruturas, segundo outros autores.

Apesar da obtenção de curvas com razoáveis coeficientes de determinação, existem particularidades nas regressões que merecem destaque. Há uma coerência entre as curvas obtidas para os edifícios 1 e 2, executados por uma mesma equipe. A diferença existente pode ser explicada. O edifício 1 era de melhor construtibilidade e com melhores condições de organização de canteiro. Segundo informações colhidas junto às obras, a presença da grua no edifício 1 facilitou a execução, visto que as operações dependiam em grande parte de transporte vertical. A presença desses dois fatores (melhor construtibilidade e melhores condições no canteiro) permitiu a obtenção de melhores índices de produtividade no edifício 1, quando comparado ao edifício 2. No entanto, a Lei de aprendizagem é mais intensa no Edifício 2, ou seja, a inclinação da curva é maior. A hipótese levantada aqui é que edifícios com projetos racionalizados e com boas condições de apoio à execução dos serviços, permitem patamares melhores de produtividade desde o início. De outro lado, obras mais difíceis de serem executadas (em termos de construtibilidade e condições de canteiro) possibilitam uma Lei de aprendizagem com mais intensidade, mas estarão inclinadas a estar em níveis de produtividade piores, como pode ser observado na Figura 2.

Quanto à regressão obtida no edifício 3, devido às condições de construtibilidade e canteiro, os patamares finais de produtividade parecem estar coerentes com os obtidos no edifício 1. No entanto, a Lei de aprendizagem foi a mais intensa. Uma possível explicação para este fato é que no edifício 3 os serviços foram feitos com maior continuidade, enquanto nos edifícios 1 e 2 as lajes eram executadas de forma intercalada, pela mesma equipe.

Observa-se que para a utilização de curvas de aprendizagem como modelos preditivos da produtividade em obras são necessários maiores estudos. Para isso é preciso dados mais intensos para estabelecer os parâmetros que possibilitam a previsão segundo a equação utilizada neste trabalho, ou seja, índice de produtividade na primeira execução e a Lei de aprendizagem a adotar. Aspectos levantados neste trabalho, tais como construtibilidade, continuidade na execução, organização de canteiro e equipamentos de apoio às tarefas devem ser levados em conta, a fim de que se possa criar famílias de curvas que seriam úteis ao planejamento e programação de obras.

4. CONCLUSÕES

No estudo apresentado neste artigo, verificou-se a boa correlação do efeito aprendizagem na execução da estrutura de edifícios altos no modelo de equação adotada

(coeficiente de correlação acima de 0,90 em todos os casos). Isso permite concluir que neste tipo de serviço o efeito aprendizagem se faz presente e deve ser levado em conta no planejamento e programação de obras.

Apesar do estudo do modelo de curva de aprendizagem ter levado a boas correlações e discutido algumas situações, são necessários ainda outros trabalhos para que se tenha uma correta explicação dos parâmetros que permitam criar modelos preditivos mais precisos e confiáveis. Neste sentido, o presente trabalho permitiu a apresentação de informações sobre produtividade, dados praticamente inexistentes na literatura nacional da construção. A realização de estudos quantitativos sobre produtividade de obras é fundamental na obtenção de mais 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 que venham a permitir o estabelecimento de índices mais confiáveis para manutenção e melhoria da produtividade de obras, como se busca atualmente no programas de qualidade e produtividade empregados em empresas construtoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gestão da qualidade na construção civil: uma abordagem para empresas de pequeno porte / editado por Carlos Torres Formoso.- Porto Alegre: Programa da Qualidade e Produtividade da Construção Civil no Rio Grande do Sul, 1994, 268p.
2. QualiPro. *Sistema de Acompanhamento da Qualidade e Produtividade na Construção. Apresentação do Sistema.* AMORIM, Sérgio R. Leusin (coord.) Clube da Qualidade na Construção e Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 1996
3. Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras / Roberto de Souza ..et al., São Paulo: Pini, 1995
4. Hijazi, A.M., AbouRizk, S.M., e Halpin, D.W. ***Modeling and Simulating Learning Development in Construction.*** Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 118, n.4, December, 1992
5. Gates, M.G. e Scarpa, A. ***Learning and Experience Curves.*** Journal of Construction Division, Vol. 102, n.CO4, December, 1972
6. Heineck, L.F. ***Efeito aprendizagem, efeito continuidade e efeito concentração no aumento da produtividade nas alvenarias.*** Anais do III Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil, Florianópolis SC, 30 e 31 de outubro, 1991
7. Thomas, H.R., Mathews, C.T. e Ward, J.G. ***Learning Curve Models of Construction Productivity.*** Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 112, n.2, June, 1986