



ISBN: 978-85-67169-04-0

# SIBRAGEC ELAGEC 2015

São Carlos / SP - Brasil - 7 a 9 de outubro

## ELABORAÇÃO DE HISTOGRAMA DE MÃO DE OBRA A PARTIR DA TEORIA DE CURVA DE AGREGAÇÃO DE RECURSOS

**REIS, Caio José Losada Reis (1); MENDONÇA, Marcelly de Figueiredo (2); SANTANA, Wylliam Bessa (3); MAUÉS, Luiz Maurício Furtado (4)**

(1) UFPA, e-mail: caiojlreis@gmail.com, (2) e-mail: marcellyfmendonca@gmail.com, (3) UFPA, e-mail: wyll.santana@gmail.com, (4), UFPA, e-mail: maues@ufpa.br.

### RESUMO

Diante da tentativa de racionalização das ferramentas de planejamento no cenário atual de competitividade do mercado da construção civil, buscou-se propor uma opção de elaboração de histograma de mão de obra a partir de uma equação que gera um gráfico, o qual define a necessidade de mão de obra mês a mês, em obras de edificações residenciais de múltiplos pavimentos, sem dispor do cronograma físico de execução. A pesquisa foi feita com a aplicação das propostas de curva de agregação de recursos teóricas em oito obras distintas na cidade de Belém para estudo de caso, a metodologia está pautada na identificação da curva mais representativa entre as variações da curva teórica de maior proximidade com o histograma de mão de obra planejado. Perante a análise de tais curvas aplicadas nas obras e relacionando com a área total construída dos empreendimentos foi possível determinar um índice de produtividade médio. De posse deste índice e da área construída total do empreendimento ao qual pretende-se analisar pode-se definir uma equação que calcula o consumo total de mão de obra, permitindo a elaboração do histograma de mão de obra a partir da curva de agregação de recursos mais próximo do cenário ideal. Em síntese, foi definido um modelo para elaboração de histogramas de mão de obra a partir da definição de uma equação, no qual os únicos dados necessários são a área total a ser construída e o prazo do empreendimento.

**Palavras-chave:** Histograma; Mão de obra; Curva de agregação de recursos.

### ABSTRACT

*Faced with the challenge of rationalizing the planning tools in the current scenario of competition in the construction market, we propose an option for development of a manpower histogram from an equation that creates a chart, which defines the need for manpower month after month, in construction of residential buildings with multiple floors, without having the physical execution schedule. The research was carried out by applying theoretical aggregation of resources curve proposed in eight different buildings in Belém as a case study. Thus, the methodology is the identification of the curve that is more representative considering the variations between the theoretical curve and the manpower histogram planned. Based on analyzes of the curves applied in the buildings and relating them to the total built area of the projects, it was possible to determine an average productivity rate. Getting this index and knowing the total area of the project to be analyzed, we can define an equation that calculates the total consumption of manpower, allowing the development of manpower histogram using the resource aggregation curve that is closer to the current scenario. In summary, a model was defined to elaborate manpower histograms from the definition of an equation in which the only data required are the total area to be built and the construction period.*

*Keywords:* Histogram; Construction Workers; Resource Aggregation Curve.

## **1 INTRODUÇÃO**

A partir da base de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), concluiu-se que o crescimento econômico do setor da construção (no Brasil) oscilou bastante nas duas últimas décadas. Em função desta oscilação frequente, faz-se necessário que as empresas possam contar com ferramentas que possibilitem um maior conhecimento das técnicas de programação de obras e seus benefícios. (CBIC, 2002)

Na busca da melhoria contínua do gerenciamento de obras, muitas vezes, torna-se necessário racionalizar os processos de planejamento, programação e controle, para que se obtenham resultados mais rápidos quando no estudo de viabilidade de empreendimentos.

Uma sugestão simples e rápida para que se conheça a necessidade de mão de obra para a realização de um empreendimento é a utilização da teoria da curva de agregação de recursos clássica. Segundo Kim e Ballard (2001 apud KERN, 2005), a curva de agregação de recursos é uma ferramenta de controle, que integra programação da produção e custo.

Em geral, essa técnica agrega a totalização de recursos utilizados em uma obra, período a período. Tais recursos podem ser homens hora, número de homens, volume ou quantidade de materiais ou, simplesmente, o valor monetário investido no projeto. O período, por sua vez, pode ser em dias, semanas, meses ou anos (HEINECK, 1989).

De acordo com Neale e Neale (1989 apud MINARI JUNIOR, 2009), a curva de agregação de recursos é uma ferramenta que não beneficia apenas o construtor, mas também clientes. Para o cliente a curva representa o desenvolvimento do empreendimento, e, para o construtor, representa o desenvolvimento do trabalho realizado periodicamente, e quantias da receita.

Desta forma, este trabalho, tem por objetivo definir uma equação matemática a partir da teoria de curva de agregação de recursos que possibilite a montagem de histogramas de mão de obra para aplicação na construção de edificações residenciais, quando na ausência de planejamento, tendo como dados a área construída e duração da obra.

## **2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA**

A pesquisa em questão foi dividida em várias etapas. Estando a mesma classificada como uma pesquisa bibliográfica, descritiva de estudo de caso e, ainda, quantitativa (GIL, 1991).

Neste trabalho o tema em estudo iniciou-se com uma revisão bibliográfica visando apresentar o estágio atual do conhecimento a respeito do tema, destacando suas dificuldades e limitações.

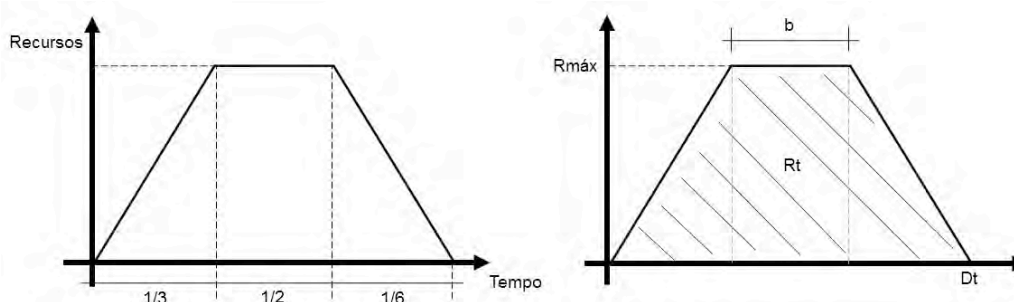
Posteriormente, para que se tornasse possível a análise crítica do assunto, foi realizada, a pesquisa descritiva de estudo de caso. Ou seja, buscou-se casos de obras reais, nas quais a teoria poderia ser aplicada, e fez-se o estudo do comportamento das curvas de agregação de recursos nas mesmas.

Por fim, coletados os dados, fez-se uma pesquisa quantitativa. Onde pode-se realizar as inferências a partir das amostras e, então, buscou-se explicar o fenômeno estudado.

### 3 CURVA DE AGREGAÇÃO DE RECURSOS

HEINECK (1989) explica a existência de uma curva de agregação de recursos clássica, a partir da forma de um trapézio. Nesta define-se que o primeiro 1/3 do período de consumo total de recurso (prazo da obra) é de mobilização, 1/2 para o desenvolvimento - no qual o consumo é constante - e 1/6 a fase final. Na fase de mobilização se considera uma crescente linear até atingir o valor máximo e na fase de desmobilização também se adota uma redução linear dos recursos. Esta chamada curva clássica é representada na figura abaixo. Seguindo esse perfil a área do trapézio representa o consumo total de recurso da obra. O mesmo autor destaca, ainda, que, o valor da abscissa no patamar pode ser determinado a partir da relação entre a base menor e a base maior do trapézio.

**Figura 1 - Curva de Agregação de Recursos Clássica**



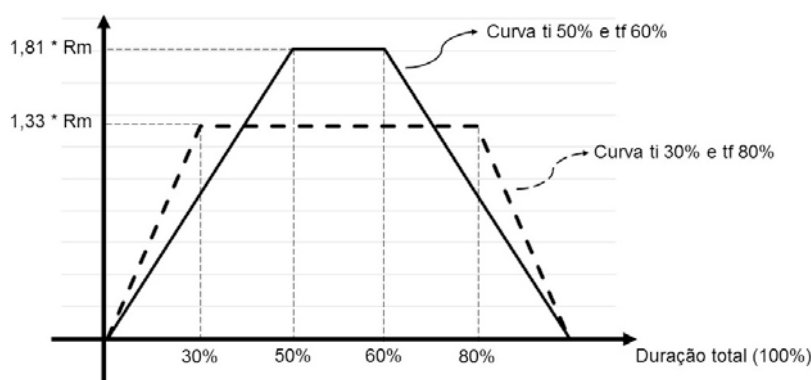
Fonte: Heineck, 1989 (adaptado).

Segundo HEINECK (1989) a curva de agregação de forma trapezoidal é apenas uma idealização teórica, e sua aplicação leva a curvas de formas bem variadas, entretanto, com o intuito de tornar mais simples a modelagem, tenta-se encaixar formas trapezoidais nos gráficos.

Ao analisar-se apenas as formas trapezoidais, pode-se caracterizá-la a partir dos pontos que marcam o início e o fim do período de estabilidade da curva ( $t_i$  e  $t_f$ , respectivamente). Gates e Scarpa (1976 apud HEINECK, 1989) afirmam que estes pontos podem assumir variados valores, mas que na sua prática profissional encontraram: (i)  $t_i = 40\%$  com uma tolerância de  $\pm 10\%$  e (ii)  $t_f = 70\%$  com uma tolerância de  $\pm 10\%$ .

Tomando como base os valores mínimos e máximos desses intervalos, observa-se que estas tolerâncias, apesar de aparentemente diminutas, determinam formas totalmente diferentes de curvas de agregação, como apresentado na figura 3.

**Figura 2 - Curvas de agregação sobrepostas**



Fonte: Heineck, 1989 (adaptado).

Segundo HEINECK (1989), quanto mais os pontos  $t_i$  e  $t_f$  estiverem afastados, mais longo será o patamar de estabilização do projeto e menor o pico de recursos em relação à média de aplicação, e, portanto, mais fácil o gerenciamento de tal projeto.

#### 4 APLICAÇÃO DA CURVA DE AGREGAÇÃO DE RECURSOS UTILIZANDO A MÃO DE OBRA COMO FOCO DA PESQUISA

##### 4.1 Elaboração de histogramas de mão de obra

Os histogramas de mão de obra, para o estudo do comportamento das curvas de agregação, foram elaborados na forma de gráfico de barras, no qual no eixo X estão os períodos mensais, do início ao fim da obra, e no Y, os somatórios de toda a mão de obra, sem distinção entre oficiais e serventes, multiplicado por 190,08 horas (jornada mensal, considerando 4,32 semanas x 44 horas semanais). Para melhor visualização, dividiu-se, o quantitativo de mão de obra por mil, resultando no quantitativo de mil homem-hora mensal.

##### 4.2 Montagem das curvas de agregação de mão de obra

Para a elaboração das curvas de agregação de recursos, foram utilizados quatro modelos teóricos. Uma curva segue a proposta do autor HEINECK (1989) e as outras três curvas, propostas de Gates e Scarpa (1976 apud HEINECK, 1989).

Para o traçado das quatro curvas de agregação utilizou-se uma variação da equação 1 de acordo com HEINECK (1989):

$$R_t = R_{m\acute{a}x} * \frac{(b + Dt)}{2} \quad (1) \quad \text{e} \quad R_{m\acute{a}x} = \frac{2 * R_t}{(b + Dt)} \quad (2)$$

Na equação acima, “ $R_t$ ” corresponde ao consumo total de mão de obra, “ $Dt$ ” ao prazo total da obra, “ $b$ ” ao prazo da obra no qual houve um consumo estabilizado de recursos e “ $R_{m\acute{a}x}$ ” ao consumo de recursos durante o período de consumo máximo desta. Isolando-se “ $R_{m\acute{a}x}$ ”, o qual define o valor de agregação nos meses referentes ao período de estabilidade da curva, tem-se a equação 2.

Nas quatro curvas, o “ $Dt$ ” e o “ $R_t$ ” são constantes para a mesma obra. A variável é “ $b$ ”, esta corresponde à diferença entre o fim ( $t_f$ ) e o início do período de agregação ( $t_i$ ). Os valores de “ $t_i$ ” e “ $t_f$ ” são definidos para cada curva segundo a tabela 1:

**Tabela 1 - Período de Estabilidade em Relação ao Prazo da Obra**

Curvas	$t_i$	$t_f$	Curvas	$t_i$	$t_f$
Curva 1	$Dt/3$	$5Dt/6$	Curva 3	30% de $Dt$	80% de $Dt$
Curva 2	40% de $Dt$	70% de $Dt$	Curva 4	50% de $Dt$	60% de $Dt$

Fonte: adaptado de HEINECK (1989).

Os valores de início e fim do período de estabilidade nas curvas de agregação de recursos são, então, definidos em relação ao prazo total da obra.

Após definir o “ $R_{m\acute{a}x}$ ”, são calculados os valores dos consumos para cada mês contido nos trechos de crescimento e decréscimo de mão de obra. Partindo-se do princípio que

há comportamento linear nesses trechos, os valores do período de crescimento foram definidos pela equação 3 e os do período de decréscimo pela equação 4.

$$Rn = \frac{Rmáx}{ti} * x \quad (3) \quad \text{e} \quad Rn = \frac{Rmáx}{(Dt - tf)} * (Dt - x) \quad (4)$$

“Rn” é o valor de agregação de mão de obra do período calculado, e “x” o período em questão. Portanto, cada curva foi calculada em quatro passos, (i) definir qual o “ti” e “tf” da curva; (ii) calcular o “Rmáx”, tem-se, então, o valor de agregação dos meses do período de estabilidade; (iii) calcular os valores de agregação de mão de obra, para cada mês no período de crescimento através da equação 3 e (iv) na equação 4 calcula-se os valores de agregação dos recursos, para o período de decréscimo e pode-se traçar as curvas.

### 4.3 Critério de análise e escolha da curva de agregação “padrão” de mão de obra

A análise dos dados ocorreu de forma comparativa entre os valores de cada curva e os valores no histograma planejado, verificando a variação entre estes.

A variação de homem-hora das curvas de agregação de recursos em relação ao histograma planejado foi feita a partir da subtração – em cada mês – da quantidade de homem-hora planejada pela quantidade obtida em cada curva. Em seguida, calculou-se a variação por período (crescimento, estabilidade e decréscimo) dos recursos.

Determinou-se que, em cada período, a curva que obtivesse a menor variação seria a mais próxima do real. E a que apresentasse menor variação em mais de um período seria a mais apropriada para a obra durante todo o prazo desta.

A curva que apresentasse menor variação na maior quantidade de períodos, somando todas as obras, seria escolhida como a curva “padrão” de agregação.

### 4.4 Determinação do índice de produtividade (IP) da mão de obra

O índice de produtividade de mão de obra, usualmente, estabelece a quantidade de homem-hora necessária para realizar uma unidade de qualquer serviço.

Neste estudo, entretanto, o objetivo era definir um índice geral para cada obra e, posteriormente, a média entre estes, para assim ser usada na equação geral da curva de agregação, pois “Rt” e “At” já são conhecidos. Utilizou-se, então, a unidade de m<sup>2</sup> e calculou-se a quantidade de homem-hora necessária para a execução de um metro quadrado de área construída, conforme equação (5):

$$IP = \frac{Rt}{At} \quad (5)$$

### 4.5 Equação para elaboração de histograma pela curva de agregação de mão de obra

A partir da definição da curva de agregação de mão de obra padrão e do cálculo da média entre os índices de produtividade (da obra), foi possível a elaboração de uma equação geral, a qual permite a montagem de uma curva de agregação de mão de obra para construções de edificações com múltiplos pavimentos.

Conhecendo-se o “ti” e “tf” definidos pela curva escolhida e o (IP), tem-se, a partir da equação 2, que:

$$R_{m\acute{a}x} = \frac{2 * At * IP}{(tf - t_i + Dt)} \quad (6)$$

“At” corresponde a área construída da obra e “IP” é o índice de produtividade pré-definido. A duração da obra, “Dt”, é definida pelo planejador. Os valores dos meses do período de crescimento e decréscimo podem ser calculados, após a definição do “Rmáx” pelas equações 3 e 4, respectivamente.

## 5 RESULTADOS DA APLICAÇÃO

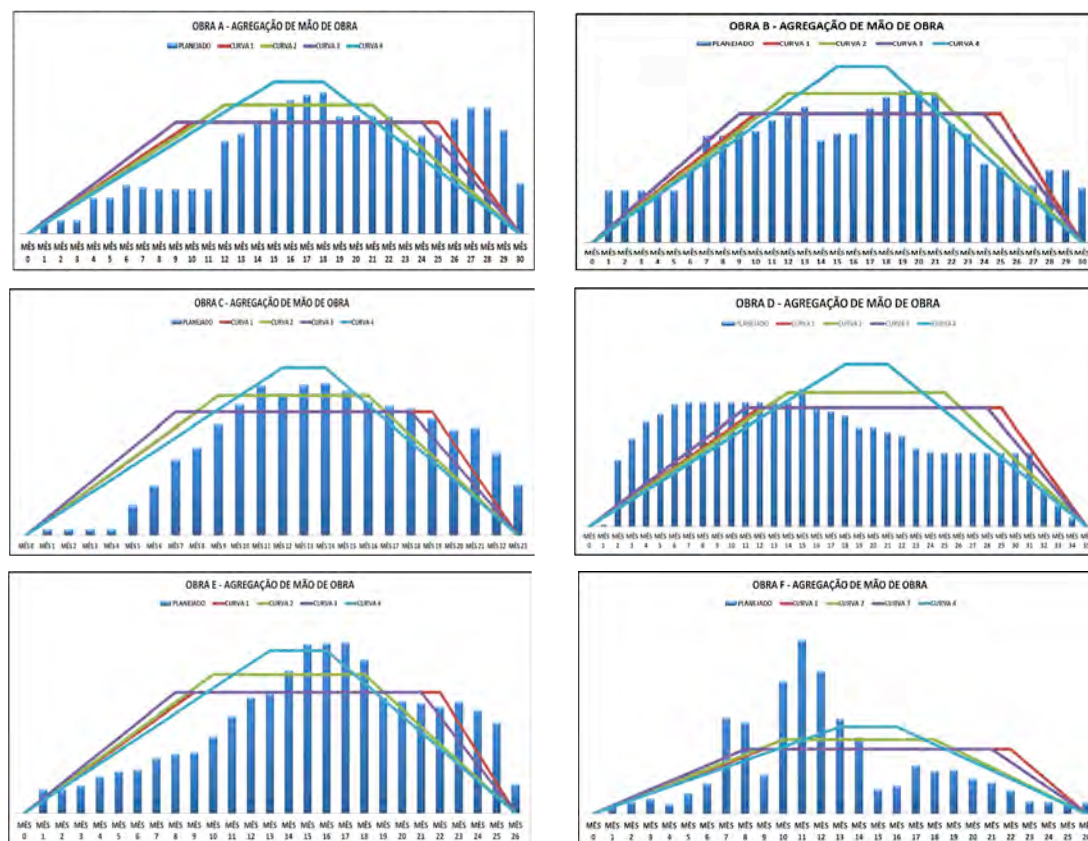
### 5.1 Descrição das obras

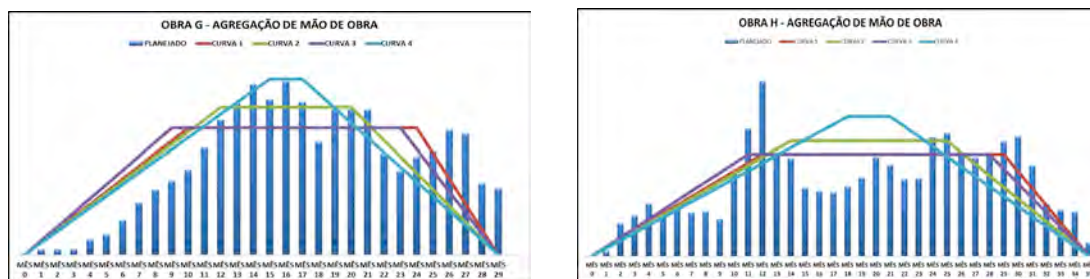
Foram pesquisadas obras de incorporação imobiliária verticais de múltiplos pavimentos, com finalidade residencial e comercial executadas por construtoras diferentes.

### 5.2 Elaboração dos histogramas e curvas de agregação de mão de obra

Seguindo a metodologia proposta neste artigo, elaborou-se as curvas de agregação de mão de obra, onde obteve-se os gráficos com os recursos, ver a figura 3.

Figura 3 – Gráficos de recursos das obras e curvas teóricas





Fonte: Autores (2015)

### 5.3 Análise dos dados e escolha da curva “padrão” de agregação de mão de obra

Na figura 4, verifica-se de forma simplificada qual a curva teórica apresentou o melhor desempenho, ou seja, menor desvio e qual teve o pior desempenho – maior desvio.

Figura 4 - Melhor e pior resultado por período de cada obra

MELHORES RESULTADOS	OBRA A			OBRA B			OBRA C			OBRA D			OBRA E			OBRA F			OBRA G			OBRA H			RESULTADOS
	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	
<b>CURVA 1</b>		X	X			X	X	X	X						X		X	X	X	X	X	X	X	X	12
<b>CURVA 2</b>									X						X					X					2
<b>CURVA 3</b>	X				X					X		X	X	X	X									X	7
<b>CURVA 4</b>				X							X														2

PIORES RESULTADOS	OBRA A			OBRA B			OBRA C			OBRA D			OBRA E			OBRA F			OBRA G			OBRA H			RESULTADOS
	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	
<b>CURVA 1</b>				X				X												X					3
<b>CURVA 2</b>							X			X	X								X			X	X		6
<b>CURVA 3</b>		X																							1
<b>CURVA 4</b>	X		X	X	X				X				X	X	X	X	X	X			X			X	14

C	Crescimento
E	Estabilidade
D	Decréscimo

Fonte: Autores (2015)

Portanto, conclui-se que a curva de agregação de mão de obra numerada como “curva 1”, a qual admite que o início do período de estabilidade da curva de agregação é equivalente a 1/3 do prazo da obra e o final, em 5/6, tem maior proximidade com a realidade de um histograma de mão de obra planejado, pois possui o maior número de trechos com menores variações.

### 5.4 Determinação do índice de produtividade da mão de obra

Foi definido um “IP” médio, a partir da equação (5), este índice médio servirá de referência para cálculos posteriores, conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Índice de produtividade médio

Obra	MO (hh)	AC (m <sup>2</sup> )	IP(hh/m <sup>2</sup> )	Obra	MO (hh)	AC (m <sup>2</sup> )	IP(hh/m <sup>2</sup> )
A	502.381,44	24.534,27	<b>20,48</b>	E	519.821,28	23.033,68	<b>22,57</b>
B	243.492,48	10.103,75	<b>24,10</b>	F	271.312,42	10.153,42	<b>26,72</b>
C	638.709,00	37.726,13	<b>16,93</b>	G	357.958,66	31.557,41	<b>11,34</b>
D	638.953,92	23.329,96	<b>27,39</b>	H	1.370.780,93	53.066,68	<b>25,83</b>
<b>Índice de Produtividade Médio = 21,92 hh/m<sup>2</sup></b>							

Fonte: Autores (2015)

### 5.5 Equação para elaboração de histograma pela curva de agregação de recursos

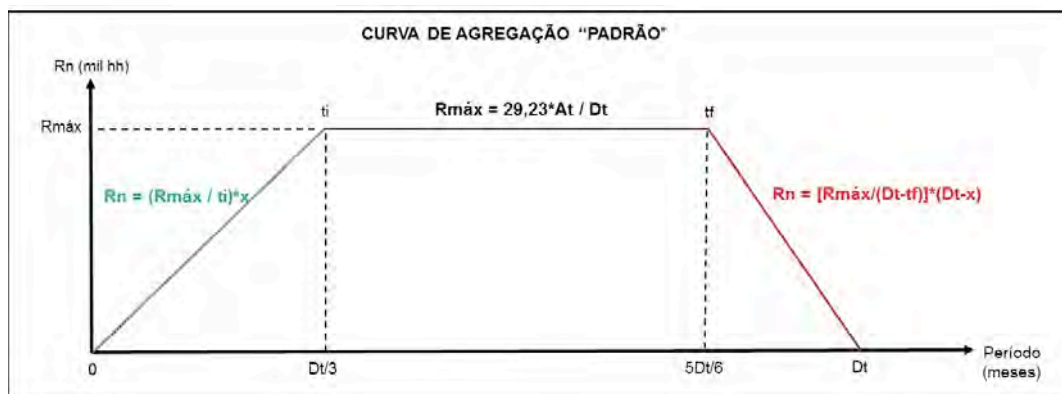
Para a elaboração do histograma, utilizou-se a equação 5 como base. IP foi definido pela média dos índices de produtividade no valor de 21,92 hh/m<sup>2</sup>. O prazo total da obra, “Dt”, precisa ser definido pelo planejador. A duração do período de estabilidade, “b”, nada mais é, que a subtração entre “tf” e “ti” que são definidos pela curva 1 – a qual foi escolhida como a que apresenta a menor variação dentre as quatro curvas estudadas nesse trabalho.

A curva 1 é uma proposta defendida por Heineck, na qual o início do período de estabilização dá-se após 1/3 do prazo da obra ser concluído e tem seu fim em 5/6, começando a partir de então o período de redução de mão de obra. Ou seja, ti equivale a Dt/3 e tf, a 5Dt/6. Substituindo os valores definidos na equação 6 que permite a elaboração da curva de agregação de mão de obra, precisando apenas conhecer a área construída do projeto e definir um prazo para a execução da obra.

$$R_{m\acute{a}x} = \frac{29,23 * At}{Dt} \quad (6)$$

A curva de agregação “padrão” de mão de obra definida está ilustrada na figura 5.

**Figura 5 – Curva de agregação de mão de obra “padrão”**



Fonte: Autores (2015)

## 6 DISCUSSÕES

O objetivo principal do trabalho era a definição de uma equação matemática que possibilitasse a montagem de histogramas de mão de obra na ausência de planejamento. Tal equação baseou-se na teoria de curvas de agregação de recursos, aplicando-a, apenas no nível de mão de obra.

A proposta de HEINECK (1989) de que a agregação de recursos de uma obra cresce linearmente até 1/3 do prazo total da obra, quando tende a estabilizar-se, até atingir 5/6 do prazo, no qual passa a ocorrer a desapropriação linear de recursos até o mês final foi a que apresentou menor diferença em relação ao histograma planejado das obras, denominada “curva 1”.

A partir dos dados das oito obras, calculou-se um índice de produtividade. Aliada a curva 1 como referências, foi possível a elaboração da equação, que permite a montagem do histograma de mão de obra a nível conceitual.



## **REFERÊNCIAS**

**A PRODUTIVIDADE DA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA.** Brasília, Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), 2002.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 3a ed. São Paulo: Atlas, 1991. 159 p.

HEINECK, L. **Curvas de Agregação de Recursos no Planejamento e Controle da Edificação – Aplicações a obra e a Programas de Construção.** CE-31/89. Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 1989.

KIM, Y.; BALLARD, G. **Earned value method and customer earned value.** 2001. In: KERN, Andrea Parisi. **Proposta de um planejamento e controle de custos de empreendimentos de construção.** Porto Alegre, 2005. 75p.

NEALE, H.; NEALE, D. **Construction planning.** 1989. In: MINARI JUNIOR, Carlos Francisco. **Influência do custo da produção no fluxo de caixa de obras de edificações.** UFSC, CCET, PPGCC. São Carlos, 2009. 64p.