



## **PROGRAMAÇÃO DE UM PROJETO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL COM BASE NA RELAÇÃO ÓTIMA TEMPO-CUSTO<sup>1</sup>**

**MARTINS, Thaylor Cardoso (1); FEITOSA, Thalys Soares (2); SILVA, Denilson Costa da (3)**

(1) UNIFESSPA, e-mail: thaylor.mts@gmail.com; (2) UNIFESSPA, e-mail: thalysfeitos@unifesspa.edu.br; (3) UNIFESSPA, e-mail: dcsilva@unifesspa.edu.br

### **RESUMO**

O objetivo deste artigo é programar a produção de um projeto de habitação de interesse social (PHIS) a partir da análise das alternativas e restrições que influenciam na tomada de decisão gerencial mediante otimização da relação tempo-custo. Para isso, a metodologia envolve 05 (cinco) etapas: (i) Estudo exploratório do projeto estudo de caso; (ii) Modelagem das variáveis de decisão de tempo; (iii) Modelagem das variáveis de decisão de custo; (iv) Modelagem e otimização da relação tempo-custo; (v) Experimentação e análise de sensibilidade. Desta forma, foi possível reduzir o tempo de construção de uma unidade habitacional (UH) em 18 dias, possibilitando compatibilizar o tempo de execução do projeto com o prazo contratado. Essa redução temporal impactou no acréscimo de 14,88% no custo de construção de uma UH. Conclui-se assim que, o estudo contribui com informações relevantes para tomada de decisão gerencial em PHIS.

**Palavras-chave:** Programação de projetos de construção. Habitação de Interesse Social. PNHR. Otimização tempo-custo de projetos de construção civil.

### **ABSTRACT**

*The purpose of this article is to program the execution of a habitation of social interest project (HSIP) from the analysis of alternatives and constraints that influence the management decision making by optimizing the time-cost. For this, the method involves five (05) steps: (i) exploratory study of the case study project; (ii) time decision variables modeling; (iii) cost decision variables modeling; (iv) modeling and optimization of the time-cost relationship; (v) testing and sensitivity analysis. Thus, it was possible to reduce the time of construction of a housing unit (HU) in 18 days, making it possible to compatible the project runtime with the contracted period. This time reduction impacted on the 14.88% increase in the cost of building a HU. The conclusion is thus the study provides relevant information for management decision making in HSIP.*

**Keywords:** Construction project schedule. Habitation of social interest. PNHR. Optimization time-cost of construction projects.

## **1 INTRODUÇÃO**

A natureza complexa e combinatorial que envolve o processo de tomada de decisão gerencial em projetos de construção civil constitui um desafio

---

<sup>1</sup> MARTINS, Thaylor Cardoso; FEITOSA, Thalys Soares; SILVA, Denilson Costa da. Programação de um projeto de habitação de interesse social com base na relação ótima tempo-custo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

aos gestores na medida em que se exige a formulação de ferramentas analíticas-matemáticas relevantes e suficientes para o auxílio na tomada de decisão (ICHIHARA, 1998).

Trabalhos relevantes abordando tal escopo tratam de projetos de construção dotados de múltiplos pavimentos, que por tais características, acabam focando em projetos de construções verticais do tipo condomínios residenciais e comerciais, tendo como exemplo o trabalho de Ichihara (1998). No entanto, esse artigo sinaliza para o campo da programação (*scheduling*) da produção em PHIS, restritamente, a habitação popular.

Nesse sentido, este artigo busca programar a produção de um projeto de habitação de interesse social levando em consideração a relação ótima entre as variáveis de tempo e de custo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico recorreu-se aos conceitos de programação linear, otimização de redes e aceleração de projetos, como relevantes e suficientes à resolução do problema de pesquisa.

### 2.1 Programação Linear (PL)

Em Lachtermacher (2009) e Taha (2008) têm-se a definição de PL. A PL é o tipo de programação matemática constituída de funções-objetivo lineares e restrições também lineares. Taha (2008) acrescenta que a PL possui 03 (três) componentes: as variáveis de decisão que se procura determinar; o objetivo relacionado à meta (maximizar ou minimizar algo); as restrições, as quais a solução deve satisfazer.

Para Lachtermacher (2009), uma das aplicações da PL é solucionar problemas de alocação de recursos limitados, problema esse componente do escopo deste trabalho. Fato que justifica a exploração da PL na busca de uma solução ótima para a programação da produção em PHIS.

Ainda em Lachtermacher (2009), a formulação matemática da PL busca:

$$F(X) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

sujeito às restrições:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad (\text{para } i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \quad (3)$$

onde:

$F(X)$ : é a solução ótima

$n$ : é o número de variáveis do problema

$m$ : é o número de restrições do problema

$i$ : é o índice de determinada restrição ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$j$ : é o índice de determinada variável ( $j = 1, 2, \dots, n$ )

$c_j$ : é o coeficiente (constante) da variável  $x_j$ , da função-objetivo  
 $a_{ij}$ : é o coeficiente (constante) na  $i$ -ésima restrição e da variável  $x_j$   
 $b_i$ : é a constante da  $i$ -ésima restrição

De acordo com Ichihara (1998), os projetos de construção civil caracterizados como lineares, são os projetos dotados de atividades repetitivas. A lógica sequencial dessas atividades também as caracterizam como linear. Limmer (2013), o tempo de duração de cada uma das atividades que compõem o projeto é resultante da metodologia de execução definida.

Segundo Antill e Woodhead (1968), todos os custos variam com tempo, sendo os custos diretos tendem a decrescer se for propiciado mais tempo a uma operação, diferentemente, dos custos indiretos que crescerão com o tempo. Para Terry e Lucko (2012), tempo e custo são variáveis conflitantes, constituindo um entrave na busca da solução ótima. Esses últimos autores afirmam ainda que, a solução ótima é obtida através do equilíbrio da relação conflitante mencionada.

## 2.2 Otimização em Redes

Dentro do escopo deste artigo, o conceito de otimização em redes busca formular e solucionar o problema que envolve a determinação de um cronograma (datas de início e de conclusão) para as atividades de um PHIS. Os algoritmos do caminho crítico CPM, juntamente, com o PERT emergem como ferramentas capazes de fornecer meios analíticos e suficientes a responder à questão da pesquisa (TAHA, 2008).

### 2.2.1 O Método PERT/CPM

Segundo Taha (2008), o método PERT /CPM constitui uma rede que auxilia a tomada de decisão em planejamento, programação e no controle de projetos. De acordo com Limmer (2013), o PERT faz uma abordagem probabilística das durações das atividades através de 03(três) estimativas de tempo: (o) tempo otimista (considera uma redução de 25% no tempo mais provável); (m) tempo mais provável (considera o tempo de ciclo ideal a uma jornada de trabalho de 8 horas por dia); (p) tempo pessimista (aumento de 100% no tempo mais provável). O uso dessas estimativas elucida a média da duração da atividade estimada ( $\mu$ ), o desvio padrão ( $\sigma$ ) e a variância, expressos a seguir:

$$\mu = \frac{o+4m+p}{6} \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{p-o}{6} \quad (5)$$

$$\text{Variância} = \sigma^2 \quad (6)$$

Ainda em Limmer (2013), o CPM aborda deterministicamente as durações

das atividades, ou seja, o desenvolvimento da rede é realizado através do registro de uma única determinação de prazo para cada atividade.

Taha (2008) afirma que a saída gerada pelo método CPM é a programação temporal do projeto, com base no conhecimento do tempo necessário para concluir o projeto, bem como, na classificação das atividades críticas e não críticas.

Antill e Woodhead (1968), uma atividade é considerada crítica se não houver nenhum espaço de manobra (folga zero) na determinação do início e fim das atividades. No entanto, as atividades não críticas já dispõem destas folgas. A determinação do caminho crítico se dá através do encadeamento de eventos críticos do início ao fim do projeto.

Prado (2004) apresenta 3 (três) definições para o caminho crítico: (i) é a sequência de atividades com folga zero para cada uma; (ii) é o caminho (ou caminhos) cuja duração total constitui a duração do projeto; (iii) é o caminho (ou caminhos) de maior duração na rede. As definições (i) e (ii) de Prado (2004) consideram o conceito de atividade crítica de Antill e Woodhead (1968) e, sugere a existência de um ou mais caminhos críticos, independente da duração total do projeto. Porém, na definição (iii) sugere a existência de somente um caminho crítico, o de maior duração do projeto. Para existência de mais de um caminho crítico, deve coincidir essa maior duração na rede.

O evento é um ponto no tempo em que as atividades são concluídas e outras iniciadas. Em termos de rede, o evento é representado por um nó (TAHA, 2008).

Ao considerar  $i$  como o nó representando o evento início de uma atividade e,  $j$  como o nó representando o evento final. Tem-se:  $D_{ij}$  a duração da atividade  $(i, j)$ ;  $T_c$  o tempo mais cedo de ocorrência do evento  $j$ , ou seja:

$$T_{cj} = T_{ci} + D_{ij} \quad (7)$$

Da mesma forma, tem-se  $T_t$  como o tempo mais tarde de ocorrência do evento  $j$ .

$$T_{tj} = T_{ti} - D_{ij} \quad (8)$$

Sendo que um evento é considerado crítico quando:

$$T_{cj} = T_{tj} \quad (9)$$

Assim, a determinação do caminho crítico envolve 02(dois) passos: o primeiro passo é a determinação dos tempos mais cedo de ocorrência dos eventos através de  $T_{cj}$  e por último, a determinação dos tempos mais tarde de ocorrência dos eventos  $T_{tj}$ .

### 2.3 Aceleração ou Compressão de Projetos de Construção

Limmer (2013), a aceleração de projetos é um meio mais rápido de finalizar um projeto em relação à duração normal. Ao acelerar uma etapa do projeto tem por consequência o aumento do seu custo e uma diminuição

do seu tempo de execução. O encurtamento da duração do projeto se dá através da adição de recursos de produção. Para Dimande (2011), tais recursos são mão de obras, materiais, equipamentos especiais, etc.

Chassiakos e Sakellariopoulos (2005), o procedimento básico para aceleração de um projeto representado em uma rede é através do encurtamento da duração das atividades ao longo do caminho crítico. Tubino (2009), salienta sobre o cuidado de outros caminhos não se tornarem também críticos e entrarem na análise.

Em termos de custos, Tubino (2009) sugere a estimação do tempo normal de cada atividade, do tempo acelerado e mais a estimação de custo por unidade de tempo reduzido. Este mesmo autor propõe ainda acelerar as atividades que oferecem menores custos por unidade reduzida.

Perera (1980) desenvolveu um modelo de compressão de projeto a partir do conceito de PL e que permite reduzir a duração total do projeto e manter o custo mínimo através de sobreposição redes de precedência. Abbasi e Mukattash (2001) propuseram um modelo de programação matemática que comprime a duração de atividades em rede PERT com base em estimativas de tempos pessimistas. Dimande (2011) desenvolveu um modelo matemático, baseado na abordagem de programação linear inteira para aceleração de projetos com recursos restritos através de múltiplos modos (compressão, sobreposição e interrupção de atividades).

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia da pesquisa divide-se em classificação e delineamento. Vale ressaltar que a mesma foi desenvolvida para estudar a programação de um PHIS mediante relação ótima de tempo e custo. A modificação do escopo exige uma adaptação do modelo.

#### **3.1 Classificação da Pesquisa**

O estudo seguiu a classificação sugerida por Silva e Menezes (2005). Do ponto de vista da natureza do estudo, tratou-se de uma pesquisa aplicada, uma vez que, este tipo de estudo caracteriza-se por seu interesse prático, isto é, que os resultados sejam aplicados ou utilizados na solução de problemas que ocorrem na realidade (MARCONI E LAKATOS, 2008). Para atingir seu objetivo, este artigo possuiu caráter descritivo, pois ele aborda a descrição, registro, análise e interpretação de fenômenos atuais, objetivando seu funcionamento no presente. Quanto à forma de abordagem do problema, foi utilizada a pesquisa quantitativa, pois se apropriou de métodos estatísticos na coleta e análise de informações. Com relação aos procedimentos técnicos foi utilizado o método do estudo de caso.

#### **3.2 Delineamento da Pesquisa**

O delineamento da pesquisa abrange 05 (cinco) etapas: Estudo exploratório; Modelagem das variáveis de decisão de tempo; Modelagem das variáveis

de decisão de custo; Formulação para otimização da relação tempo-custo; Experimentação e análise de sensibilidade. Essas etapas, ou parte delas, são observadas também nos trabalhos de alguns autores, a saber: Chassiakos e Sakellaropoulos (2005); Campos e Lima (2011); Dimande (2011).

### 3.2.1 Estudo Exploratório do Projeto Estudo de Caso

O presente trabalho foi desenvolvido em um projeto de construção habitacional abrangendo as premissas do Programa Nacional Habitacional Rural (PNHR).

O PNHR é um programa federal que faz parte do programa Minha Casa Minha Vida tem a finalidade de melhorar as condições de habitação dos agricultores familiares e assalariados rurais em todo o Brasil. O programa funciona por meio do repasse de recursos financeiros do Governo Federal para os beneficiários, através de Entidades Organizadoras (Sindicatos, Cooperativas, Associações, Prefeitura Municipal e outros). O valor de subsídio para a produção de uma UH, especificamente, na Região Norte do País é de R\$ 30.500,00 e para reforma R\$ 18.400,00.

Por questões de sigilo, o projeto será chamado de "Projeto Alfa". Tal projeto é destinado à construção de 50 UHs em uma comunidade quilombola situada no nordeste paraense. O projeto arquitetônico da UH dispõe de 41,98 m<sup>2</sup> de área construída conformes premissas do PNHR. A produção de cada casa custa R\$ 30.500,00 que, somados à remuneração da assistência técnica de engenharia (R\$30.000,00) e do técnico social (R\$20.000,00), totalizam o empreendimento em R\$1.575.000,00. O regime de produção da UH é a autoconstrução assistida, onde o beneficiário, titular do contrato, produz sua UH com o auxílio de assistência técnica especializada (engenheiro, mestre de obras, pedreiro, eletricista e outros profissionais afins).

O cronograma físico-financeiro (CFF) do Projeto Alfa abrange a duração do projeto em 12 meses. Esse não contempla a distribuição das atividades das UHs de forma paralela, o que vai de contra ao princípio da linha de balanço. De acordo com alguns analistas da agência gerenciadora (GIHAB – Belém – Caixa Econômica Federal), a prática de construção com entrega de alguns lotes maiores (casa pronta) é mais viável para gerenciamento das entregas e repasse de recursos.

Um problema que exige um plano contingencial diz respeito ao repasse do recurso monetário para execução. De acordo com as premissas do PNHR, a primeira parcela é depositada 15 dias após a contratação (na prática os 15 dias restantes após a entrada de recursos do primeiro mês é destinada à compra e recebimento de material no local da obra). Outrossim, no CFF do projeto tem que constar 5% do total no último mês. Em outras palavras, 95% do projeto tem que ser executado entre o início do 2º mês e o fim do 11º.

Dentro da hipótese de dimensionamento do tamanho do lote, faz-se necessário a construção e entrega de um determinado lote, para então iniciar a construção de outro. Com base nesta afirmação, os autores deste

trabalho entenderam como necessário otimizar a relação entre tempo e custo de uma única UH, para então, dimensionar as entregas dos lotes de forma compatível dentro do prazo contratado.

### 3.2.2 Modelagem das Variáveis de Decisão de Tempo

Esta etapa envolveu a modelagem da rede PERT/CPM. Para isso, foi necessário, preliminarmente, definir as macro-atividades componentes da estrutura analítica de projeto (ex: serviços preliminares: limpeza do terreno, locação e escavação manual), suas relações de precedência e seus requisitos de tempo (duração estimada). Essas informações são apresentadas na Tabela 1. As predecessoras entre as atividades foram modeladas na rede (Figura 1), levando em consideração os cálculos (eq. 7) (eq. 8) para desenvolver uma programação temporal do projeto (CPM).

A modelagem temporal proporcionou a percepção de dois caminhos, com atividades críticas encadeadas do início ao fim da rede. O primeiro caminho crítico englobou as atividades (A-B-C-E-I-J-K-L-M) e indicou uma duração de 61 dias para finalização do projeto. O segundo caminho crítico totalizou 58 dias e envolveu as atividades (A-B-C-J-K-L-M).

Tabela 1 – Predecessoras e duração estimada.

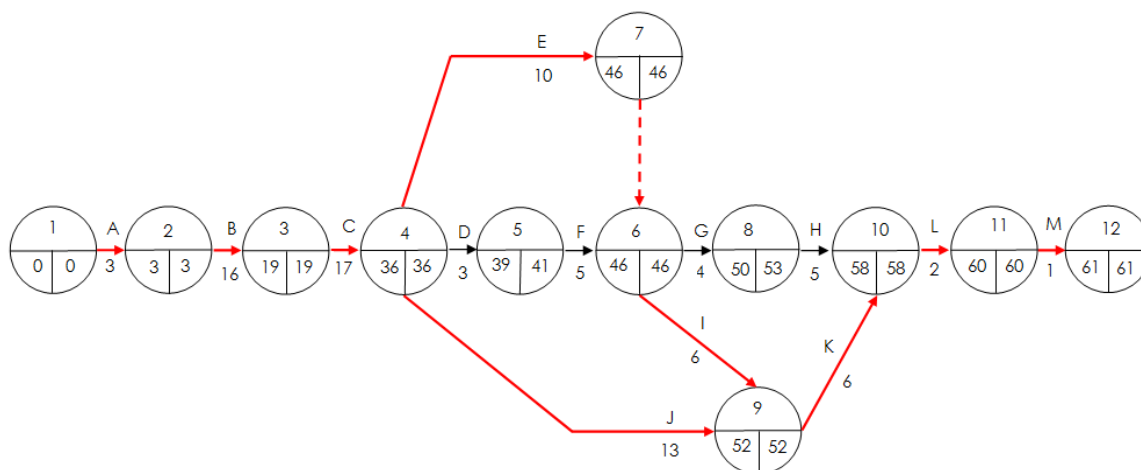
Atividade	Descrição	Predecessoras	Duração Estimada (Dias)
A	Serviços preliminares	-	3
B	Infraestrutura	A	16
C	Paredes e percintas	B	17
D	Esquadrias	C	3
E	Cobertura	C	10
F	Revestimento	D	5
G	Forro	E, F	4
H	Pintura	G	5
I	Instalações elétricas	F	6
J	Instalações hidro-sanitárias	C	13
K	Piso	J	6
L	Aparelhos e metais	H	2
M	Limpeza final	L	1

Fonte: Os autores

Em seguida, utilizou-se o PERT para estabelecer os estimadores da média da duração das atividades (eq. 4) e mais a variância (eq. 6), considerando o tempo mais provável de duração das atividades, o tempo otimista e o tempo pessimista. Também foi efetuado o cálculo do desvio-padrão (eq. 5) para os dois caminhos críticos dispostos (Tabela 2). A necessidade desses estimadores justifica-se, com base em (Limmer, 2013), quando a natureza probabilística das durações das atividades segue a hipótese normalmente

distribuída. Com a exploração do Apêndice 1, que apresenta a tabela para a curva reduzida de Gauss, foi obtida a probabilidade de 87% de conclusão para o primeiro caminho crítico e 97% para o segundo. Mesmo com a menor probabilidade o primeiro caminho foi escolhido para redução por possuir o maior caminho.

Figura 1 – Rede temporal do projeto.



Fonte: Os autores

Tabela 2 – Ações e decisões

Atividade	Tempo (em dias)			Média	Variância	Desvio-Padrão
	Otimista (o)	Mais provável (m)	Pessimista (p)			
A	2,25	3	6	3,38	0,63	0,39
B	12	16	32	18,00	3,33	11,11
C	12,75	17	34	19,13	3,54	12,54
D	2,25	3	6	3,38	0,63	0,39
E	7,5	10	20	11,25	2,08	4,34
F	3,75	5	10	5,63	1,04	1,09
G	3	4	8	4,50	0,83	0,69
H	3,75	5	10	5,63	1,04	1,09
I	4,5	6	12	6,75	1,25	1,56
J	9,75	13	26	14,63	2,71	7,34
K	4,5	6	12	6,75	1,25	1,56
L	1,5	2	4	2,25	0,42	0,17
M	0,75	1	2	1,13	0,21	0,04

Fonte: Os autores

### 3.2.3 Modelagem das Variáveis de Decisão de Custo

A Tabela 3 apresenta as variáveis de custo extra de aceleração da diferença entre o modo de produção acelerado (MPA) e o modo de produção normal (MPN). O MPN considera as atividades determinadas no



caderno e especificações técnicas do projeto. Por outro lado, o MPA envolve as atividades responsáveis pela aceleração do projeto.

Tabela 3 – Variáveis de custo.

Atividade	MPN		MPA		Custo Extra de Aceleração	
	Duração	Custo	Duração	Custo		
A	3	R\$ 520,80	3	-	-	-
B	16	R\$ 2.146,29	8	R\$ 2.360,92	R\$ 214,63	
C	17	R\$ 4.748,34	10	R\$ 5.223,17	R\$ 474,83	
D	3	R\$ 3.076,87	3	-	-	
E	10	R\$ 6.918,42	9	R\$ 7.610,26	R\$ 691,84	
F	5	R\$ 3.686,38	5	-	-	
G	4	R\$ 1.901,23	4	-	-	
H	5	R\$ 1.584,54	5	-	-	
I	6	R\$ 1.047,39	5	R\$ 1.152,13	R\$ 104,74	
J	13	R\$ 2.034,54	13	-	-	
K	6	R\$ 2.305,35	5	R\$ 2.535,89	R\$ 230,54	
L	2	R\$ 446,19	2	-	-	
M	1	R\$ 83,66	1	-	-	

Fonte: Os autores

Vale ressaltar que o MPA foi constituído de duas formas: consiste nas atividades com a consideração dos recursos de produção, o aspecto custo para aceleração do projeto, foi tratado de duas formas visando à compressão das atividades críticas:

- proposição de outro modo de produção para as atividades críticas B e C: o sistema de fundações e estrutural constituído por canaletas pré-moldadas;
- adição de recursos de produção (mão de obra) para as atividades E, I e K;

### 3.2.4 Formulação para otimização da relação Tempo-Custo

Esta etapa corresponde à modelagem matemática, que envolve a construção da função objetivo e a restrições que sujeitam tal função. Como a intenção é tornar os custos de aceleração o mínimo possível, tem-se:

$$\text{Custo Mín} = 0,00x_a + 214,63x_b + 474,83x_c + 0,00x_d + 691,84x_e + 0,00x_f + 0,00x_g + 0,00x_h + 104,74x_i + 0,00x_j + 230,54x_k + 0,00x_l + 0,00x_m \quad (10)$$

a) Restrição de redução máxima de cada atividade usando a penúltima coluna da Tabela:

$$x_b \leq 8 \quad (11)$$

$$xc \leq 7 \quad (12)$$

$$xe \leq 1 \quad (13)$$

$$xi \leq 1 \quad (14)$$

$$xk \leq 1 \quad (15)$$

b) Restrição de Não Negatividade:

$$xa \geq 0, xb \geq 0, \dots, xm \geq 0 \quad (16)$$

$$ya \geq 0, yb \geq 0, \dots, ym \geq 0 \quad (17)$$

c) Restrição de duração do projeto

$$y_{\text{termino}} \leq 43 \text{ dias} \quad (18)$$

d) Restrição para início das atividades

$$yb \geq (3 + xa) \quad (19)$$

$$yc \geq yb + (16 - xb) \quad (20)$$

$$yd \geq yc + (17 - xc) \quad (21)$$

$$ye \geq yc + (17 - xc) \quad (22)$$

$$yf \geq yd + (3 - xd) \quad (23)$$

$$yg \geq ye + (10 - xe) \quad (24)$$

$$yh \geq yg + (4 + xg) \quad (25)$$

$$yi \geq ye + (10 - xe) \quad (26)$$

$$yj \geq yc + (17 - xc) \quad (27)$$

$$yk \geq yi + (6 - xi) \quad (28)$$

$$yl \geq yk + (6 - xk) \quad (29)$$

$$ym \geq yl + (2 - xl) \quad (30)$$

$$y_{\text{termino}} \geq ym + (1 - xm) \quad (31)$$

### 3.2.5 Experimentação e Análise de Sensibilidade

A função-objetivo, assim como as restrições, foram modeladas e simuladas no ambiente virtual Lindo (*Linear Interactive and Discrete Optimizer*) (versão para Windows). A versão explorada possui capacidade de 150 restrições e 300 variáveis. Portanto, apresenta a capacidade necessária para resolução do problema em questão. O mesmo software dispõe da ferramenta (*range*) que permite a análise de sensibilidade.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

O valor ótimo encontrado para a função-objetivo é R\$4.538,65 (Anexo 1). A coluna custo reduzido (*reduced cost*) representa o valor a ser pago por redução de uma unidade. O relatório de sensibilidade (Anexo 2) identificou as alterações oriundas da função objetivo, facilitando a visualização do problema sem ser necessário voltar várias vezes à problemática. Essa etapa confirmou a hipótese a respeito dos valores da função objetivo e das

restrições a partir do estabelecimento de limites inferiores e superiores para todos os coeficientes das variáveis presentes na formulação. Tais limites são apresentados nas colunas permissível acréscimo (*allowable increase*) e permissível decréscimo (*allowable decrease*). A análise de validade da solução para os coeficientes das variáveis na função objetivo e das restrições indicam o tempo máximo permitido para redução de cada atividade, assim como atividade que podem ser realizadas simultaneamente a outras. Com isso as atividades atacadas são B, C, E, I e K, cuja redução totaliza 18 dias no total.

O CFF do projeto estima a duração temporal em 12 meses ( $=12\text{meses} \times 30\text{dias}$ ) totalizando em 360 dias. Porém, para o dimensionamento do número de UHs a serem construídas paralelamente foi considerado ( $=10\text{meses} \times 30\text{dias}$ ). A redução em 60 dias justifica-se mediante as premissas do PNHR citado no item 3.2.1. Dessa forma, a relação entre 10 meses (300 dias) e 45 dias (adotado) resulta em aproximadamente 7 (sete) UHs.

A programação da produção proposta é de 7 (sete) lotes, sendo que em 6(seis) lotes será construído 7 (sete) UHs e em 1(um) lote serão construídas 8(oito) UHs, sendo distribuídas da seguinte maneira:

- Da metade do 2º mês a metade do 3º mês – construção do 1º lote contendo 7 (sete) UHs;
- Da metade do 3º mês ao fim do 4º mês – construção do 2º lote contendo 7 (sete) UHs;
- Do início do 5º mês a metade do 6º mês – construção do 3º lote contendo 7 (sete) UHs;
- Da metade do 6º mês ao fim do 7º mês – construção do 4º lote contendo 7 (sete) UHs;
- Do início do 8º mês a metade do 9º mês – construção do 5º lote contendo 7 (sete) UHs;
- Da metade do 9º mês ao fim do 10º mês – construção do 6º lote contendo 7 (sete) UHs;
- Do início do 11º mês a metade do 12º mês – construção do lote contendo 8 (oito) UHs;

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho foi alcançado no que tange à programação da produção ser realizada mediante subsídios oriundos de formulação matemática, o que proporciona confiabilidade nos resultados e auxilia a tomada de decisão gerencial.

No que tange ao tempo de projeto, a redução no tempo de construção de uma UH de 61 dias para 43, possibilitou compatibilizar a construção dos lotes de UH mesmo em tempo inferior ao prazo contratado. O impacto da aceleração no custo, foi um acréscimo de 14,88%, ou seja, o custo para produção de uma UH aumentou de R\$30.500,00 para R\$35.038,65. Com este acréscimo o novo custo total do projeto é de R\$1.801.932,50.

O custo acentuado de aceleração, pode exercer maior peso no processo decisório, devido o recurso financeiro ser limitado. Desta forma, sugere-se novos estudos utilizando outros conceitos de programação e considerando tal limitação.

Esse tema é mais evidenciado em trabalhos técnicos envolvendo projeto de construção com financiamento privado, devido à aceleração de projetos demandar investimentos adicionais. Nessa óptica, entende como a contribuição deste trabalho – a promoção da discussão do conceito de aceleração de projetos com financiamento público.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, G.; MUKATTASH, A. **Crashing PERT Networks using Mathematical Programming**. International Journal of Project Management, (2001), 19 pp. 181-188.
- ANDRADE, D. C. C. **Estudo do gerenciamento do tempo em projetos de construção civil enxuta através da simulação de eventos discretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- ANTIL, J. M. e WOODHEAD, R. W. **CPM aplicado às construções**. Rio de Janeiro: LTC/USP, 1968.
- CAMPOS, L. M. L.; LIMA, A. S. **Modelo de Rede para Otimizar a Relação Conflitante Tempo-Custo em Gerenciamento de Projetos**. In: IV Congresso Tecnológico Infobrasil, 2011, Fortaleza. Anais do IV Congresso Tecnológico Infobrasil, 2011.
- CHASSIAKOS, A. P.; SAKELLAROPOULOS, S. P. **Time-Cost Optimization of Construction Projects with Generalized Activity Constraints**. Journal of Construction Engineering and Management, 131 (10) (2005), pp. 1115–1124.
- DIMANDE, C. D. **Aceleração de projeto com recursos restritos mediante interrupção de atividades**. 2011. 118p. Tese de Doutorado (Instituto Alberto Luiz de Coimbra – Pós-Graduação e Pesquisas em Engenharias), Rio de Janeiro, 2011.
- ICHIHARA, J. A. **Um método de solução heurístico para programação de projetos dotados de múltiplos pavimentos-tipo**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- LACHTERMARCHER, G. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- LIMMER, C. V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Obras**. Reimp. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 7ed. – São Paulo: Atlas, 2008.

PERERA, S. **Linear programming solution to network compression.** Journal of the Construction Division, (1980), 106(3):315–326

PRADO, D. S. **PERT/CPM.** 4.ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

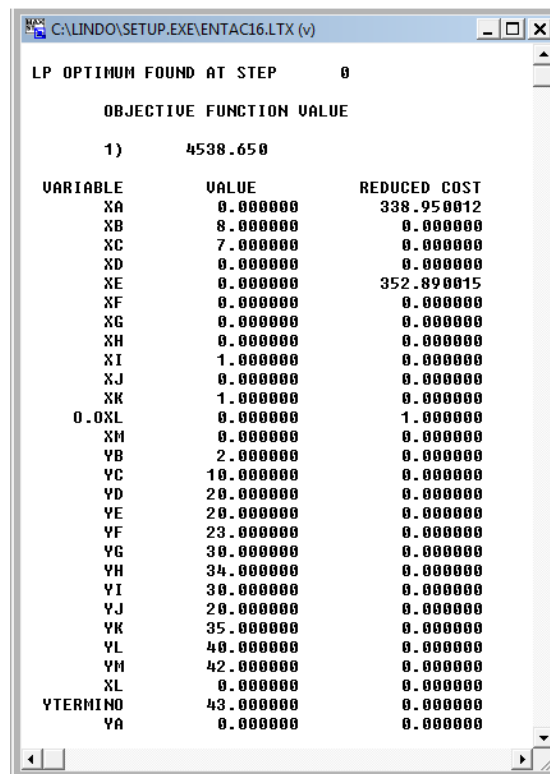
SILVA, E. D.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e elaboração da dissertação.** 4. ed. rev. atual. – Florianópolis: UFSC, 2005.138p.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral.** 8ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TERRY, S.; LUCKO, G. **Algorithm for Time-Cost Tradeoff Analysis in Construction Projects by Aggregating Activity-Level Singularity Functions.** Proceedings of the 2012 Construction Research Congress, (2012), 226–235.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção: teoria e prática.** 2ª Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

## ANEXO 01 – RELATÓRIO SOLUÇÃO ÓTIMA



LP OPTIMUM FOUND AT STEP 0

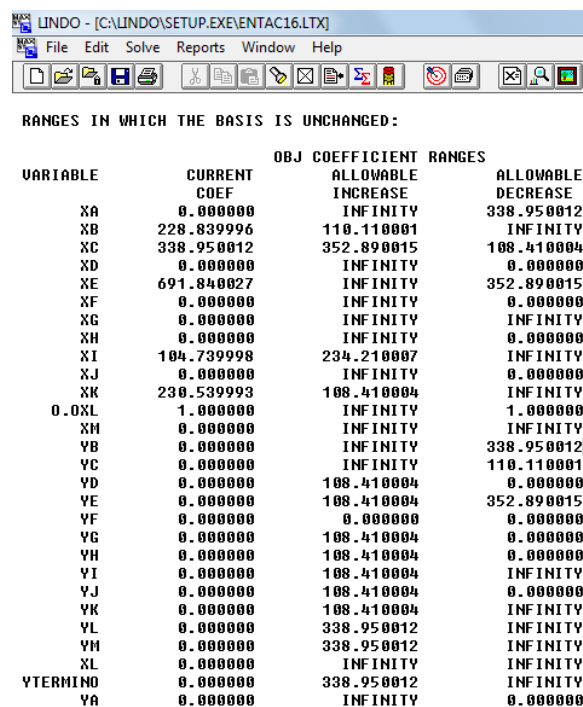
OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 4538.650

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XA	0.000000	338.950012
XB	8.000000	0.000000
XC	7.000000	0.000000
XD	0.000000	0.000000
XE	0.000000	352.890015
XF	0.000000	0.000000
XG	0.000000	0.000000
XH	0.000000	0.000000
XI	1.000000	0.000000
XJ	0.000000	0.000000
XK	1.000000	0.000000
0.OXL	0.000000	1.000000
XM	0.000000	0.000000
YB	2.000000	0.000000
YC	10.000000	0.000000
YD	20.000000	0.000000
YE	20.000000	0.000000
YF	23.000000	0.000000
YG	30.000000	0.000000
YH	34.000000	0.000000
YI	30.000000	0.000000
YJ	20.000000	0.000000
YK	35.000000	0.000000
VL	40.000000	0.000000
VM	42.000000	0.000000
XL	0.000000	0.000000
YTERMINO	43.000000	0.000000
VA	0.000000	0.000000

Fonte: Os autores

## ANEXO 02 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE



RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
XA	0.000000	INFINITY	338.950012
XB	228.839996	110.110001	INFINITY
XC	338.950012	352.890015	108.410004
XD	0.000000	INFINITY	0.000000
XE	691.840027	INFINITY	352.890015
XF	0.000000	INFINITY	0.000000
XG	0.000000	INFINITY	INFINITY
XH	0.000000	INFINITY	0.000000
XI	104.739998	234.210007	INFINITY
XJ	0.000000	INFINITY	0.000000
XK	230.539993	108.410004	INFINITY
0.OXL	1.000000	INFINITY	1.000000
XM	0.000000	INFINITY	INFINITY
YB	0.000000	INFINITY	338.950012
YC	0.000000	INFINITY	110.110001
YD	0.000000	108.410004	0.000000
YE	0.000000	108.410004	352.890015
YF	0.000000	0.000000	0.000000
YG	0.000000	108.410004	0.000000
YH	0.000000	108.410004	0.000000
YI	0.000000	108.410004	INFINITY
YJ	0.000000	108.410004	0.000000
YK	0.000000	108.410004	INFINITY
VL	0.000000	338.950012	INFINITY
VM	0.000000	338.950012	INFINITY
XL	0.000000	INFINITY	INFINITY
YTERMINO	0.000000	338.950012	INFINITY
VA	0.000000	INFINITY	0.000000

LINDO - [C:\LINDO\SETUP.EXE\ENTAC16.LTX]			
File Edit Solve Reports Window Help			
RIGHTHAND SIDE RANGES			
ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	2.000000	0.000000	2.000000
3	16.000000	0.000000	7.000000
4	17.000000	INFINITY	20.000000
5	17.000000	0.000000	7.000000
6	3.000000	INFINITY	23.000000
7	10.000000	INFINITY	30.000000
8	4.000000	INFINITY	34.000000
9	10.000000	0.000000	7.000000
10	17.000000	INFINITY	20.000000
11	6.000000	0.000000	7.000000
12	6.000000	0.000000	7.000000
13	2.000000	0.000000	7.000000
14	1.000000	0.000000	7.000000
15	0.000000	0.000000	0.000000
16	8.000000	7.000000	0.000000
17	7.000000	INFINITY	0.000000
18	0.000000	0.000000	0.000000
19	1.000000	INFINITY	1.000000
20	0.000000	0.000000	0.000000
21	0.000000	34.000000	0.000000
22	0.000000	0.000000	0.000000
23	1.000000	7.000000	0.000000
24	0.000000	0.000000	0.000000
25	1.000000	7.000000	0.000000
26	0.000000	7.000000	0.000000
27	0.000000	7.000000	0.000000
28	0.000000	0.000000	INFINITY
29	0.000000	8.000000	INFINITY
30	0.000000	7.000000	INFINITY
31	0.000000	0.000000	INFINITY
32	0.000000	0.000000	INFINITY
33	0.000000	0.000000	INFINITY
34	0.000000	0.000000	INFINITY
35	0.000000	0.000000	INFINITY
36	0.000000	1.000000	INFINITY
37	0.000000	0.000000	INFINITY
38	0.000000	1.000000	INFINITY
39	0.000000	0.000000	INFINITY
40	0.000000	0.000000	INFINITY
41	0.000000	0.000000	INFINITY
42	0.000000	2.000000	INFINITY
43	0.000000	10.000000	INFINITY
44	0.000000	20.000000	INFINITY
45	0.000000	20.000000	INFINITY
46	0.000000	23.000000	INFINITY
47	0.000000	30.000000	INFINITY
48	0.000000	34.000000	INFINITY
49	0.000000	30.000000	INFINITY
50	0.000000	20.000000	INFINITY
51	0.000000	35.000000	INFINITY
52	0.000000	40.000000	INFINITY
53	0.000000	42.000000	INFINITY
54	0.000000	43.000000	INFINITY
55	43.000000	7.000000	0.000000

Fonte: Os autores

**APÊNDICE 01 - TABELA DISTRIBUIÇÃO NORMAL (CURVA REDUZIDA DE GAUSS)**

<b>z</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0100</b>	<b>0,0200</b>	<b>0,0300</b>	<b>0,0400</b>	<b>0,0500</b>	<b>0,0600</b>	<b>0,0700</b>	<b>0,0800</b>	<b>0,0900</b>
<b>0,0000</b>	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
<b>0,1000</b>	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0753
<b>0,2000</b>	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
<b>0,3000</b>	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
<b>0,4000</b>	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1733	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
<b>0,5000</b>	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2113	0,2157	0,2190	0,2224
<b>0,6000</b>	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549
<b>0,7000</b>	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
<b>0,8000</b>	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2995	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
<b>0,9000</b>	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
<b>1,0000</b>	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
<b>1,1000</b>	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3738	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
<b>1,2000</b>	0,3849	0,3869	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4137	0,4162	0,4177
<b>1,3000</b>	0,4032	0,4049	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
<b>1,4000</b>	0,4192	0,4207	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
<b>1,5000</b>	0,4332	0,4345	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
<b>1,6000</b>	0,4452	0,4463	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4508	0,4516	0,4525	0,4533
<b>1,7000</b>	0,4554	0,4463	0,4656	0,4664	0,4671	0,4878	0,4886	0,4893	0,4699	0,4706
<b>1,8000</b>	0,4641	0,4564	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
<b>1,9000</b>	0,4713	0,4649	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
<b>2,0000</b>	0,4772	0,4719	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
<b>2,1000</b>	0,4821	0,4778	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
<b>2,2000</b>	0,4861	0,4826	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
<b>2,3000</b>	0,4893	0,4864	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4932	0,4936
<b>2,4000</b>	0,4918	0,4896	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
<b>2,5000</b>	0,4938	0,4920	0,4946	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
<b>2,6000</b>	0,4953	0,4940	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
<b>2,7000</b>	0,4965	0,4955	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
<b>2,8000</b>	0,4974	0,4866	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
<b>2,9000</b>	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
<b>3,0000</b>	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990
<b>3,1000</b>	0,4990	0,4991	0,4991	0,4991	0,4992	0,4992	0,4992	0,4992	0,4993	0,4993
<b>3,2000</b>	0,4993	0,4993	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4995	0,4995	0,4995
<b>3,3000</b>	0,4995	0,4995	0,4995	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4997
<b>3,4000</b>	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4998
<b>3,5000</b>	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998
<b>3,6000</b>	0,4998	0,4998	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
<b>3,7000</b>	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
<b>3,8000</b>	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
<b>3,9000</b>	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
<b>4,0000</b>	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000