

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NA ENGENHARIA DE SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Miguel Munemori J.¹; Faculdade Assis Gurgacz. Cascavel - PR
Estor Gnoatto²; Centro Federal de Educação Tecnológica. Medianeira - PR
Yuri Ferruzzi³; Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel - PR
Reinaldo P. Ricieri⁴; Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel - PR
Joaquim O. Pereira⁵, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel - PR

RESUMO: Este trabalho aborda a aplicação das técnicas de Programação Linear na engenharia de sistemas. Propõe-se uma metodologia de análise para tomadas de decisão desde a escolha dos tipos de edificações a serem construídas até a escolha de investimentos no pós-venda e o período de construção. Sua primeira parte analisa o histórico da pesquisa operacional e quais foram às necessidades que originaram esta técnica. Na segunda parte é apresentada a programação linear como uma técnica de otimização largamente empregada na resolução de problemas de alocação de recursos, que tem seus modelos representativos por expressões lineares. Sua grande difusão deve-se tanto à versatilidade que essa técnica possui em representar um amplo espectro de problemas reais quanto à garantia da solução ótima a baixo custo.

Palavras - chave: engenharia de sistema, tomada de decisão, otimização.

1 INTRODUÇÃO

Paralelamente às questões nacionais, a segunda guerra mundial fazia nascer um processo de otimização para alocar os recursos bélicos e humanos para uma melhor eficiência das forças aliadas contra as forças da Alemanha. Em meados de 1945, foram criados grupos de pesquisa na Inglaterra, com o objetivo de estudar os problemas considerados novos e que escapavam das rotinas bélicas, tanto no plano estratégico como tático (DANTZIG, 1963). Dentre os problemas estudados incluem-se: o emprego eficiente do radar, uso de canhões antiaéreos, táticas de bombardeio a submarinos, escolta navais, etc...

Essa fórmula de abordar problemas de otimização estimulou a disseminação desses grupos e, ao final da guerra, determinou sua manutenção, mas redirecionados para os desafios ligados à gerência civil. O marco definitivo na afirmação da Pesquisa Operacional foi a publicação por G. Dantzig, em 1947, do método simplex para a programação linear (HILIER, 1980). Desse modo, a programação linear se tornou a primeira técnica explícita e permanece até hoje como a mais básica e útil de todas as técnicas da Pesquisa Operacional (PREGALDA, 1981).

Os problemas de otimização na construção civil agravaram-se com a globalização e a escassez de recursos. No contexto brasileiro, determinaram a necessidade de planejamento das inter-relações entre os subsistemas de um empreendimento na construção civil (SILVA, 1986).

¹ Professor, Engenharia Civil - FAG, Cascavel, PR, Rua Jandaia, 4666 CEP: 87 501 - 970 Umuarama - Paraná. Caixa Postal 226 (044) 9967 60 88, e-mail: miguel@fag.edu.br.

² Engº Agrícola, Professor CEFET- PR - Medianeira, Mestrando em Engenharia Agrícola - Área de Energia. UNIOESTE - Medianeira - PR. (045) 91074470 e-mail: estor@unioeste.com.br.

³ Mestrando, Área de Energia, Mestrado em Engenharia Agrícola - UNIOESTE, Cascavel, PR, (044) 9967 23 85, e-mail: yuri@unioeste.br.

⁴ Professor titular, Mestrado Engenharia Agrícola - UNIOESTE, Cascavel, PR, (045)9105 8914 e-mail: reinaldo@fag.edu.br.

⁵ Professor titular, Mestrado Engenharia Agrícola - UNIOESTE, Cascavel, PR, (045) 220 31 99, e-mail: jodilon@unioeste.br.

Por essa razão, este trabalho tem como objetivo estimular a aplicação de técnicas computacionais no gerenciamento de produção civil, desde a escolha e a quantidade do imóvel a ser edificado até o melhor investimento durante a comercialização final. O principal fator que se levou em conta neste estudo foi a otimização dos recursos dentro do setor produtivo e o melhor investimento financeiro na comercialização (SHIMIZU, 1984). Assim, ao final do trabalho deve ser criada uma metodologia de otimização que poderá ser aplicada em qualquer empreendimento na construção civil. Deve ser uma metodologia fruto de análise matemática e que orientará futuros trabalhos dentro do campo da pesquisa operacional aplicada à engenharia de sistemas de produção civil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Pesquisa Operacional

A pesquisa operacional é uma técnica específica para solucionar modelos de otimização com auxílio da programação linear. A base matemática é dada pela álgebra linear e que, para este uso específico, é conhecida como método **simplex**. Hoje, através dos modernos computadores pessoais, temos programas específicos e que tornam as soluções rápidas. Um exemplo é o programa denominado de LINDO (SCHRAGE, 1997), com acesso disponibilizado pelo site www.lindo.com.br.

2.2 Modelo em Programação Linear

O conceito de modelo é essencial nos estudos de pesquisa operacional. Em tal contexto, modelo é uma idealização, ou uma visão simplificada da realidade. A partir dessa idealização, o modelo emprega símbolos matemáticos para representar as variáveis de decisão do sistema real. Essas variáveis são relacionadas por funções matemáticas que expressam o funcionamento do sistema. A solução consiste em encontrar valores adequados das variáveis de decisão que otimizem o desempenho do sistema, segundo o critério desejado.

A Figura 1 ilustra o conceito de modelo e as atividades básicas da pesquisa operacional.

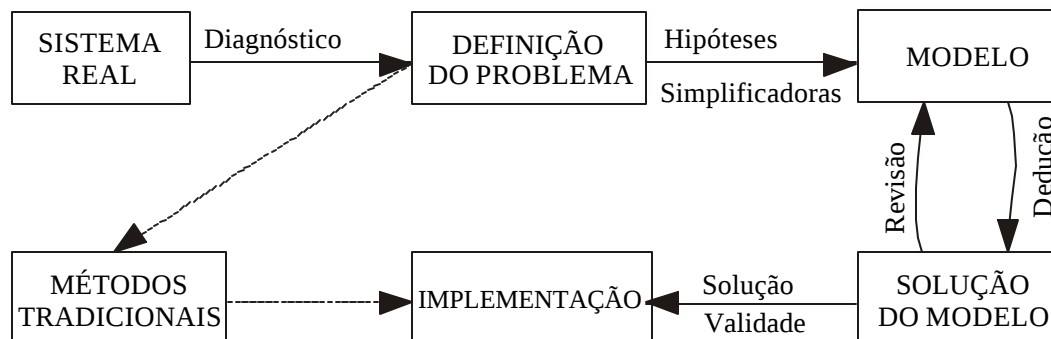


Figura 1 - Atividades Básicas da Pesquisa Operacional.

Dado um sistema real, a percepção de que há nele alguns aspectos que exigem modificações em seu gerenciamento leva à definição do problema. Por meio de hipóteses simplificadoras, nas quais são estabelecidas as variáveis de decisão e as relações relevantes do sistema, chega-se ao modelo matemático. Obtida a solução do modelo, esta deve ser avaliada e criticada levando, eventualmente, a revisões das hipóteses ou no modelo. O processo de revisão prossegue até que a solução seja considerada válida, quando passaria à fase de implementação.

A porção pontilhada da Figura 1 indica toda outra forma de resolver o problema considerado.

Para melhor compreensão da Figura 1 suponha, como exemplo, o problema de escolha da cultura a ser plantada, levando-se em conta a rentabilidade por hectare plantado e o atendimento às limitações de recursos financeiros e de área de plantio.

Uma das soluções tradicionais para esse problema consistiria em consultar um especialista, com vivência na área rural, que teria soluções a propor. Outra forma de resolver seria as soluções chamadas míopes, em que a abordagem comum é o método da tentativa-e-erro, em que determinadas alternativas são colocadas em prática e seus resultados avaliados até que se encontre uma solução satisfatória.

Naturalmente, modelos só podem ser escolhidos quando as soluções tradicionais forem julgadas insatisfatórias. Os procedimentos matemáticos usados deveriam garantir, em situações complexas, o alcance de soluções não encontráveis pelo bom senso ou outro recurso não científico. Outro aspecto positivo da utilização do modelo matemático é que, caso seja encontrado um bom modelo para estudar certa situação, tal modelo passa a ter utilidade permanente para avaliar alterações ou a evolução futura do sistema real. Por outro lado, os modelos não pretendem representar a completa realidade, mas sim seus aspectos julgados essenciais pelo analista.

Outro aspecto essencial na solução de problemas no campo é que todo o estudo de pesquisa operacional envolve um custo elevado, devendo contar com uma equipe qualificada, microcomputador, etc. Isso determina que tais estudos somente sejam realizados quando os benefícios prospectivos sejam realmente significativos.

No caso da programação linear o aspecto custo é menos crítico, pela simplicidade de seu emprego, pela existência do método simplex e de programas de computador a baixo custo.

2.3 Caracterização do Modelo na Escolha da edificação

Os modelos de programação linear são identificados pelas seguintes características:

- a) Um critério de escolha das variáveis de decisão constituído por uma função linear das variáveis. Essa função é denominada função objetivo e seu valor deve ser de otimização (maximizado ou minimizado).

b) As relações de interdependência entre as variáveis de decisão se expressam por um conjunto de equações (e/ou) inequações lineares. Essas relações são denominadas restrições.

c) As variáveis de decisão do modelo são não-negativas, ou seja, positivas ou nulas.

O aspecto matemático do modelo na escolha da cultura pela programação linear está ilustrado a seguir.

O modelo consiste em maximizar Z (*lucro total do plantio*) e ter restrições com o sinal “=” ou “<=”, encontrando as variáveis $x_1, x_2, \dots, x_n$ que maximizem a função linear (lucro por hectare), satisfazendo diversas inequações lineares (restrições financeiras e de área de plantio), ou seja:

$$\text{Max. } Z = l_1 x_1 + l_2 x_2 + \dots + l_n x_n,$$

sujeito a

$$a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \leq b_1$$

$$c_{21} x_1 + c_{22} x_2 + \dots + c_{2n} x_n \leq b_2$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq d_{ha}$$

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; \dots; x_n \geq 0.$$

Para interpretação do modelo, convém associá-lo a uma construtora que tem b_1 recursos financeiros e b_2 homens-hora de trabalho disponíveis para a construção de n edificações distintas.

Assim, para $j = 1, 2, \dots, n$ e $i = 1$ e 2 tem-se:

x_j = quantidade da edificação j , incógnitas ou variáveis do problema;

l_j = lucro por unidade da edificação j

b_1 = quantidade disponível de recursos financeiros ($b_1 \geq 0$)

b_2 = quantidade disponível de homem-hora de trabalho ($b_2 \geq 0$)

a_{1j} = quantidade de recursos financeiros consumida na construção de uma edificação j

c_{1j} = quantidade de homem-hora necessária na construção de uma edificação j .

d_{ha} = quantidade de datas disponíveis para edificação.

A função objetiva a ser maximizada representa o lucro total da construtora nas n edificações distintas.

R_n = quantidade de rendimento na carência j

A função objetiva a ser maximizada representa o rendimento total no prazo da última carência do fluxo de caixa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de comprovar a validade do modelo, foram empregadas simulações de duas situações em que se pode aplicar o algoritmo que resume a metodologia desenvolvida na seção anterior, seguindo-se as etapas propostas para resolução.

3.1 Simulação para Escolha da edificação

Deseja-se otimizar os lucros com construções de edificações padrões de área de 80 m², 100 m² e 120 m² no mesmo loteamento. Deve-se determinar as quantidades de edificações padrões para que o lucro no empreendimento seja o máximo. O lucro por unidade de edificação padrão de 80 m², 100 m² e 120 m² seja, respectivamente, R\$ 6.000,00, R\$ 4.200,00 e R\$ 7.500,00. Sendo o loteamento com 120 lotes e sendo que as construções padrões de 80 m², 100 m² e 120 m² consomem 3.000, 2.000 e 4.000 homens-hora por edificação. E sendo que o número de homens-hora disponíveis é 300.000 horas. E que, para o atendimento do departamento de vendas, tem-se 15 unidades de 80 m² já vendidas no lançamento do loteamento.

Após a estruturação do problema e utilizando o aplicativo LINDO obtivemos os seguintes resultados:

Tabela 1 – Distribuição das edificações padrões .

Edificação padrão	Quantidade
80 m ²	60
100 m ²	60
120 m ²	0
Lucro total:	R\$ 612.000,00

3.2 Simulação para Escolha de Investimento na comercialização

Deseja-se saber, nos meses de comercialização (supor os meses de julho e agosto) e com uma disponibilidade de R\$ 200.000,00 para aplicação financeira, quais as alocações a serem realizadas dentre as aplicações disponíveis. As opções são a poupança que rende 1% ao mês e tem carência de 1 mês e o C.D.I. que rende 0,2 % ao dia, tem carência de 30 dias e, após este prazo, tem possibilidade de resgate diário. Sendo que na metade do mês de agosto será necessário adiantar R\$ 50.000,00 para o início de um novo empreendimento. Portanto, é

preciso determinar um plano de aplicação que maximize os investimentos no final da comercialização.

Após a estruturação do problema e utilizando o aplicativo LINDO obtivemos os seguintes resultados:

Tabela 2 – Distribuição dos Valores Investidos.

Investimento	Valor investido (R\$)	
	1º mês	2º mês
Poupança	200.000,00	152.149,50
C.D.I.	0,00	49.850,45
Valor obtido no final da comercialização: R\$ 153.671,00		

4 CONCLUSÕES

Através da problematização do estudo chegou-se a conclusão que o uso de Programação Linear na área de produção civil é de aplicação simples e com um retorno maximizado matematicamente a cada empreendimento

Através do modelo desenvolvido, pode-se trabalhar com todas as variáveis, tais como incógnitas no sistema de restrições durante a construção e nas opções de investimentos durante a comercialização. Assim, é possível analisar todo o ciclo de um empreendimento de construção civil, desde a escolha da edificação padrão até o melhor investimento financeiro durante a comercialização.

Sugere-se que se desenvolva um programa integrado com o LINDO que forneça uma ferramenta de trabalho para gerenciar as construtoras em seus empreendimentos de produção civil.

REFERÊNCIAS

- SILVA, E. M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. *Pesquisa operacional*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1986.
- DANTZIG, George B. *Linear programming and extensions*. Princeton-New Jersey: Princeton University Press, 1963.
- HILLIER, F.; LIEBERMAN, Gerald J. *Introducion to operation*. 3 ed. San Francisco: Research, Holden-Day, 1980.
- LINDO SYSTEMS INC. *Linear develop operation*. Disponível em <<http://www.lindo.com>>. Acesso em 01/02/03.
- PREGALDA, P. F.; OLIVEIRA A. A. F.; BORNSTEIN, C. T. *Introdução à programação linear*. Rio de Janeiro: Campus, 1981.
- SCHRAGE, L. *Optimization modeling with LINDO*. 5 ed. Londres: Brooks/Cole Publishing Company, 1997.
- SHIMIZU, T. *Pesquisa operacional em engenharia, economia e administração: modelos básicos e métodos computacionais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984.