

08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

OTIMIZAÇÃO DOS GASTOS DE AQUISIÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Roberto Carlos Santos Pedroga¹ – roberto@pedroga.com

Jeziel Alves Santiago¹ – jezielsantiago@outlook.com

Hugo Andrei Mendes da Silva¹ – hugoandrei@femc.edu.br

¹ Faculdade de Ciência e Tecnologia de Montes Claros – Montes Claros, MG, Brasil

Resumo. Os reflexos da recessão econômica brasileira de 2015 ainda perpetuam sobre diversos setores industriais. No setor da construção civil, que tem se tornado cada vez mais competitivo, principalmente para micro e pequenas empresas. Os custos de construção têm aumentado gradativamente, tanto por desperdícios durante a execução das obras quanto por manobras financeiras que buscam permitir que a organização continue operando e conclua seus projetos. Para auxiliar estas organizações a reduzirem seus gastos, este estudo apresenta um modelo matemático para ser usado como ferramenta de suporte para a tomada de decisão na aquisição de matérias-primas e outros recursos por empresas da indústria de construção civil. Através da pesquisa documental, foi possível coletar dados, analisá-los e realizar, com auxílio da programação linear, a modelagem dos gastos de aquisição para ser utilizada no processo de compras de construtoras e empreiteiras. O modelo permitiu reduzir os gastos em 11,8%, quando comparados aos dados históricos. Os resultados da comparação permitiram comprovar, portanto, a aplicabilidade do método e validou seu uso no auxílio à tomada de decisão.

Palavras-chave: Modelagem, Compras, Construção Civil, Pesquisa operacional, Otimização;

1. INTRODUÇÃO

Os projetos de engenharia para a construção civil são, em sua maioria, de médio e longo prazo. Sendo assim, é necessário realizar estudos minuciosos em relação aos preços de compra dos insumos ainda nas fases iniciais, as chamadas pré-obras.

Caso as variações dos gastos ao longo do tempo não tenham sido previstas na fase de projeto e planejamento, ocasionam diferenças expressivas entre os gastos planejados e os praticados.

Havendo a impossibilidade de alteração do preço final do projeto e a necessidade de aquisição de insumos com um preço maior que o planejado, as construtoras reduzem suas

margens de lucro, o que pode gerar impactos negativos no projeto e riscos para estrutura financeira da empresa.

Com o intuito de reduzir desperdícios e aumentar o desempenho dos processos produtivos, profissionais em posições gerenciais utilizam ferramentas para servir de suporte à tomada de decisão, tanto na fase de planejamento quanto em fases subsequentes onde o ajuste das decisões são necessários para aumentar a produtividade e reduzir o consumo ineficiente dos recursos da organização.

A modelagem matemática baseada em programação linear é uma ferramenta poderosa, pois fornece a possibilidade de identificar parâmetros ideais e simular condições seguras. O foco do modelo é, através da experimentação do modelo, evitar que o sistema real sofra com perdas, buscando determinar os ajustes adequados para melhoria do desempenho produtivo.

Os departamentos de compras de construtoras enquadradas como MPEs (micro e pequenas empresas), por possuírem um grande volume de compra de insumos e decisões pré-definidas acerca da aquisição desses, tendem a gerar margens de redução significativas para a organização, uma vez que o preço de compra praticado foge aos parâmetros determinados em projeto.

Portanto, este trabalho tem como objetivo elaborar um modelo matemático, baseado em programação linear, que sirva como ferramenta auxiliar para gestores de departamentos de compras de construtoras caracterizadas como MPEs, situadas no estado de Minas Gerais. Porém, pode ser utilizado para outros segmentos e tamanhos de organizações, cabendo apenas ajustá-lo ao cenário da instituição.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A modelagem matemática utilizada na pesquisa operacional é capaz de resolver problemas complexos de forma estruturada, uma vez que alinha uma grande quantidade de referências e fatores, sendo uma ferramenta valiosa para apoio à tomada de decisões (SILVA, 2013).

Barbosa e Zanardini (2015) definem programação linear, uma vez que o problema é adaptado para uma função linear possuindo restrições lineares, como uma ferramenta matemática capaz de desempenhar o papel de suporte à tomada de decisão, otimizando o aproveitamento da produção, reduzindo desperdícios de mão-de-obra ou matérias-primas.

Para Izidoro (2015), o modelo de programação linear possui três componentes básicos:

- a) Variáveis de decisão, são as decisões que serão tomadas;
- b) Função objetivo, é a meta que deverá ser otimizada;
- c) Variáveis de restrição, são os limites que o modelo deve respeitar.

Segundo Fogliatti e Mattos (2007), a otimização de um sistema é a melhoria das medidas de desempenho desse sistema através do reajuste de parâmetros que podem ser alterados, corrigidos, ajustados, controlados ou dimensionados a fim de se obter um resultado ótimo.

O processo de compras incorpora a negociação dos preços praticados, sendo o objetivo do profissional que atua no departamento de compras garantir o melhor custo-benefício na aquisição do bem ou serviço, ou seja, comprar o produto ou serviço certo, na quantidade certa, pelo preço e qualidade com melhor relação (SZABO, 2015).

3. METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa aplicada, uma vez que foi realizado o estudo do problema em um determinado contexto, buscando soluções para os problemas enfrentados em um ambiente

específico, apoiada na pesquisa documental, já que a fonte de dados são registros históricos de compras e utiliza a técnica de pesquisa descritiva para expor os detalhes do experimento a fim de que outras pessoas possam repetir a experimentação e gerar suas próprias conclusões (MASCARENHAS, 2012).

O primeiro passo deste trabalho foi analisar os documentos que contém dados históricos do setor de compras de um grupo de sete construtoras MPEs, onde cinco itens comumente comprados foram dispostos juntamente com suas respectivas cotações de três fornecedores distintos, sendo essas quantidades escolhidas apenas para ilustrar e compreender a relação dos dados. Uma vez que o modelo abordará um número variável, essas quantidades poderão ser alteradas de acordo com a necessidade do comprador.

Após uma análise para compreender a relação dos dados, buscou-se determinar as variáveis de decisão, como o preço unitário de cada item a ser comprado, o frete por pedido de cada fornecedor e a quantidade de itens a serem comprados. Posteriormente, definiu-se a função objetivo do modelo através da interação dessas variáveis e por fim as restrições que limitam as variáveis do modelo (IZIDORO, 2015).

Uma análise comparativa entre os dados históricos de compras e uma simulação desses dados a partir do modelo, com a intenção de otimizá-los, foi realizada para compreender os resultados que essa ferramenta pode oferecer.

4. RESULTADOS

Conforme pode ser observado na Tabela 1, os fatores que determinaram a decisão de compra, de forma enxuta, sendo composta pelo número de identificação de cada item a ser comprados, a descrição de cada item, a unidade de medida para cada item, a quantidade de itens a serem comprados, os valores unitário para cada item de acordo com cada fornecedor, os fretes cobrados por pedido de cada fornecedor, os subtotais com seus respectivos descontos para compras a vista ou por pedido fechado (critério do fornecedor).

Tabela 1 - Tabela resumida com preços unitários de três fornecedores

Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço Unit. Fornec. A	Preço Unit. Fornec. B	Preço Unit. Fornec. C
1	Tijolo cerâmico 29x19x9cm	unidade	1.000	0,36	0,50	0,43
2	Cimento CP II	saco 50kg	50	30,00	28,00	31,00
3	Areia lavada	m ³	10	150,00	139,00	125,00
4	Cal em pó	saco 25kg	20	9,50	9,50	9,48
5	Eletroduto corrugado flexível d=20mm	m	200	1,29	2,85	1,75
			Frete	80,00	0,00	100,00
			Subtotal	3.938,00	4.050,00	3.869,60
			Subtotal com desconto	3.741,10	3.847,50	3.676,12

Com base nos fatores observados na Tabela 1, pode-se determinar o modelo matemático para o problema, sendo sua função objetivo descrita conforme a Eq. (1) a seguir:

$$\min Z = (a_1b_{11} + c_1) + (a_1b_{12} + c_2) + (a_2b_{21} + c_1) + (a_2b_{22} + c_2) \dots + (a_mb_{mn} + c_n) \quad (1)$$

As restrições são representadas pelas inequações lineares presentes na Eq. (2),

$$\begin{cases} (a_1b_{11} + c_1) + (a_2b_{21} + c_1) + \dots + (a_mb_{m1} + c_1) > 0 \\ (a_1b_{12} + c_2) + (a_2b_{22} + c_2) + \dots + (a_mb_{m2} + c_2) > 0 \\ \vdots \\ (a_1b_{1n} + c_n) + (a_2b_{2n} + c_n) + \dots + (a_mb_{mn} + c_n) > 0 \end{cases} \quad (2)$$

E que,

$$\begin{aligned} a_1, a_2, \dots, a_m &> 0 \\ b_{11}, b_{12}, b_{21}, b_{22} \dots, b_{mn} &\geq 0 \\ c_1, c_2, \dots, c_n &\geq 0 \end{aligned}$$

Onde,

a → é a quantidade de determinado item a ser comprado;
 b → é o preço unitário de determinado item a ser comprado;
 c → é o preço do frete de acordo com determinado fornecedor;
 m → é o número total de itens a serem comprados;
 n → é o número total de fornecedores listados.

Apesar da forma expandida ser mais detalhada e facilitar o entendimento para aqueles que não possuem conhecimentos sobre modelagem, também é interessante reproduzir a função objetivo em sua forma reduzida, descrita como na Eq. (3) a seguir:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_i b_{ij} + c_j \quad (3)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} a_i &> 0 \\ b_{ij} &> 0 \\ c_j &\geq 0 \\ 0 < Z < P \end{aligned}$$

Onde,

a_i → é a quantidade do item i a ser comprado;
 b_{ij} → é o preço unitário do item i a ser comprado do fornecedor j ;
 c_j → é o preço do frete indicado pelo fornecedor j ;
 i → é o número do respectivo item a ser comprado;
 j → é o número do respectivo fornecedor;
 m → é o número total de itens a serem comprados;
 n → é o número total de fornecedores listados;
 P → é o menor preço total com desconto dado pelo fornecedor j para realizar o pedido exclusivamente com o mesmo.

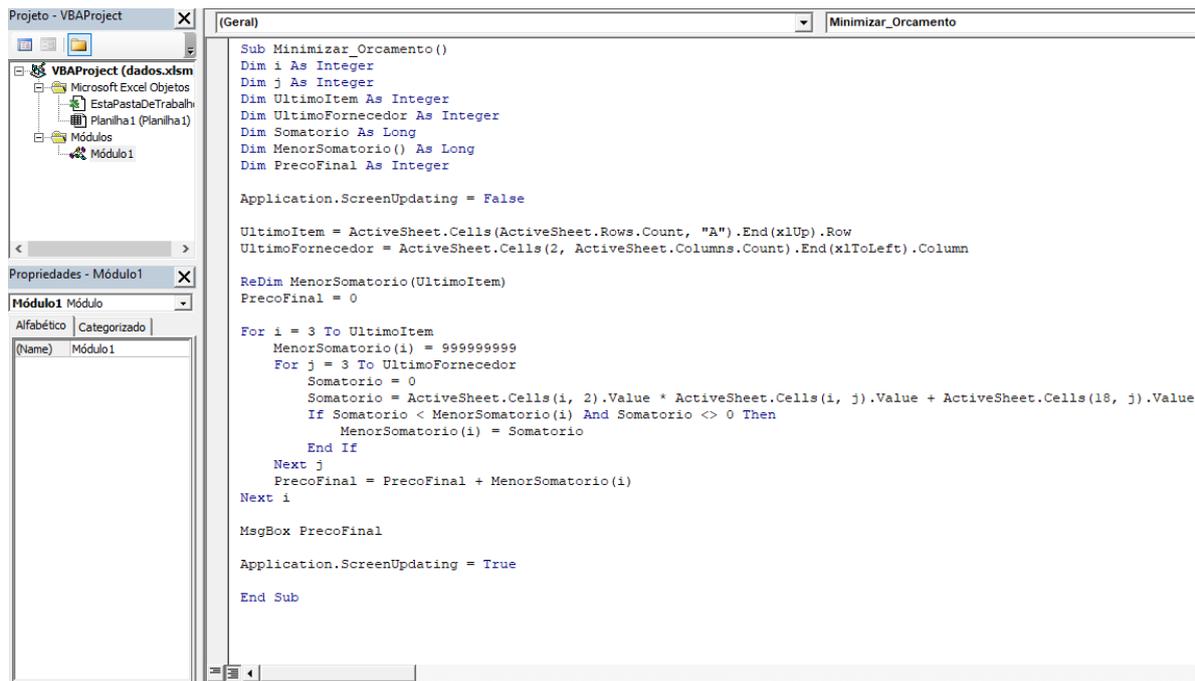


Figura 1 - Algoritmo de otimização que busca minimizar o preço de orçamento

Através da Figura 1 é possível observar o algoritmo produzido em *Visual Basic for Applications* (VBA), desenvolvido com base no *software* Excel, para servir de ferramenta computacional no auxílio a busca do menor preço dos orçamentos.

Tabela 2 - Conjunto de dados de itens vs. preços unitários de fornecedores

ITEM	QTD.	FORNECEDORES																		MENORES PREÇOS	SUBTOTAL			
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R			S	T	
1	1.000	0,36	0,50	0,43	0,29	0,44	0,45	0,44	0,50	0,36	0,39	0,35	0,36	0,44	0,55	0,51	0,30	0,31	0,58	0,39	0,46	0,29	RS	290,00
2	50	30,00	28,00	31,00	39,99	24,49	39,37	30,38	41,85	33,48	41,54	40,61	34,41	29,14	40,30	23,87	35,34	23,87	20,46	33,48	22,32	20,46	RS	1.023,00
3	10	155,00	139,00	125,00	108,75	166,25	145,00	145,00	106,25	167,50	162,50	93,75	141,25	166,25	88,75	92,50	98,75	123,75	163,75	113,75	140,00	88,75	RS	887,50
4	79	19,80	12,87	24,75	17,23	26,14	26,73	24,75	23,17	17,62	21,38	23,76	14,85	23,17	23,17	13,66	26,53	23,76	17,62	14,06	21,98	12,87	RS	1.016,73
5	139	4,75	4,32	4,75	6,27	5,94	5,56	3,61	3,85	3,23	3,66	5,70	6,37	5,56	4,13	4,51	4,32	6,08	5,37	3,85	5,70	3,23	RS	448,97
6	16	37,20	32,74	45,01	40,18	49,10	31,62	28,64	44,64	26,04	48,36	36,46	45,01	48,73	32,36	47,99	39,80	36,83	47,62	27,53	39,80	26,04	RS	416,64
7	131	189,90	131,03	163,31	138,63	199,40	256,37	148,12	174,71	239,27	241,17	131,03	157,62	244,97	129,13	150,02	155,72	206,99	203,19	237,38	132,93	129,13	RS	16.916,03
8	35	475,80	333,06	642,33	356,85	523,38	413,95	366,37	485,32	404,43	551,93	394,91	361,61	413,95	570,96	542,41	485,32	323,54	442,49	485,32	418,70	323,54	RS	11.323,90
9	229	0,25	0,18	0,25	0,27	0,20	0,31	0,24	0,29	0,28	0,20	0,20	0,28	0,22	0,32	0,33	0,33	0,23	0,21	0,29	0,19	0,18	RS	41,22
10	125	21,90	24,75	23,87	24,97	16,86	23,21	24,97	29,57	26,72	27,38	23,00	17,96	26,06	21,46	28,91	25,40	17,74	25,84	21,90	23,65	16,86	RS	2.107,50
11	81	5,65	5,71	5,99	6,50	7,57	6,10	6,67	4,35	5,76	6,33	4,63	7,23	4,80	5,48	6,89	6,78	6,78	6,16	6,10	5,93	4,35	RS	352,35
12	186	7,45	5,96	8,64	7,82	8,94	5,07	9,83	6,41	9,69	8,94	7,75	8,42	8,87	7,45	6,71	7,23	8,64	6,48	5,96	9,31	5,07	RS	943,02
13	147	73,50	69,09	98,49	48,51	81,59	97,76	80,85	69,09	58,80	78,65	72,77	64,68	89,67	57,33	71,30	88,94	94,08	57,33	62,48	90,41	48,51	RS	7.130,97
14	20	9,50	9,50	9,48	11,38	7,49	6,73	9,01	12,13	10,14	9,29	8,34	7,77	7,77	10,52	7,77	10,62	8,25	10,90	8,44	8,44	6,73	RS	134,60
15	200	1,29	2,85	1,75	1,21	2,05	1,63	1,21	1,14	2,07	2,17	1,14	1,91	2,03	2,17	1,30	2,28	1,52	2,24	1,77	1,63	1,14	RS	228,00
FRETE		80,00	68,00	100,00	108,00	68,00	104,00	113,00	69,00	68,00	65,00	93,00	114,00	86,00	84,00	65,00	71,00	87,00	135,00	85,00	79,00	-	RS	791,00
SUBTOTAL		63.730,15	49.943,35	70.691,68	49.775,53	68.493,86	74.676,33	56.515,96	62.611,13	66.467,43	75.864,56	53.479,80	54.196,54	72.697,16	57.015,66	60.196,31	62.731,28	63.304,18	62.456,71	67.569,78	57.285,67	-	RS	44.051,43
SUBTOTAL.COM DESCONTO		58.631,74	48.445,05	65.036,35	48.780,02	65.754,11	69.448,99	51.429,52	56.976,13	62.479,38	70.554,04	57.994,44	51.486,71	66.154,42	55.305,19	59.594,35	61.476,65	59.505,93	59.588,44	62.839,90	53.275,67	-	-	-
DIFERENÇA DO MODELO		14.580,31	4.393,62	20.984,92	4.728,59	21.702,68	25.397,56	7.378,09	19.294,70	18.427,95	26.502,61	13.943,01	7.435,28	22.102,99	11.253,76	15.542,92	17.425,22	15.454,50	15.907,01	18.788,47	9.224,24	-	-	-

Na Tabela 2 é possível observar as diversas opções de compra, onde se busca o menor preço unitário em uma lista de quinze itens com preços de vinte diferentes fornecedores, ou seja, uma matriz de 15x20, seguindo a mesma lógica da matriz 5x3 da Tabela 1, evidenciando que o modelo se adapta às diferentes quantidades de itens e orçamentos.

Ainda na Tabela 2, pode ser observado que dos 20 fornecedores, 10 foram selecionados com base nos menores preços unitários para cada item, mesmo somando seus fretes. Ou seja,

os subtotais dos preços dos materiais acrescidos de 10 diferentes fretes ainda foi considerado um preço abaixo do menor preço total oferecido por apenas 1 fornecedor.

Ainda que levasse em consideração a somatória de preços dos fretes completos para todos os fornecedores escolhidos, ou seja, um preço de frete muito maior do que qualquer fornecedor pratica isoladamente, foi possível atingir um preço de compra de R\$ 44.051,43 que é uma redução de 11,8% comparado ao preço do menor orçamento, que foi de R\$ 49.943,35, ou 9,07% do preço de compra total com desconto da melhor oferta disponível isoladamente, que foi R\$48.445,05. A diferença de preços entre o preço total do modelo e o preço total da melhor oferta significa um montante de R\$ 4.393,62, 9,97% em relação ao preço total do modelo, mais barato que a melhor oferta disponível já aplicado o desconto por pagamento a vista ou afins.

5. CONCLUSÃO

A partir do modelo utilizado, foi possível compreender a necessidade de ajustes que se adequem a realidade para cada situação específica, de acordo com o interesse do gestor.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se verificar que o modelo matemático apresentado, que se baseia na programação linear, demonstrou potencial para afetar positivamente as organizações que fizerem seu uso.

Visto que a redução de 11,8% dos gastos com aquisição de matérias-primas para a construção permite um reajuste positivo da margem de lucro da organização, portanto, pode-se afirmar que a utilização de um modelo matemático adequado às necessidades do departamento de compras de uma construtora, ou empreiteira, fornece a capacidade de aumento do desempenho da organização e a torna mais competitiva frente a seus concorrentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem as empresas que disponibilizaram os dados para a realização desta pesquisa, a Faculdade de Ciência e Tecnologia de Montes Claros (FACIT), a Fundação Educacional de Montes Claros (FEMC) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio no desenvolvimento do projeto e aos revisores pelos úteis comentários e sugestões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, M. A.; Zanardini, R. A. D. (2015), Iniciação à pesquisa operacional no ambiente de gestão, 3 ed. rev. e atual, InterSaberes, Curitiba.
- Fogliatti, M. C.; Mattos, N. M. C. (2007), Teoria de Filas, Interciência, Rio de Janeiro.
- Izidoro, C. (2015), Métodos quantitativos, Pearson, São Paulo.
- Mascarenhas, S. A. (2012), Metodologia científica, Pearson, São Paulo.
- Silva, R. O. (2013), Teorias da administração, 3 ed., Pearson, São Paulo.
- Szabo, V. (2015), Fundamentos de atividade comercial, Pearson, São Paulo.

OPTIMIZATION OF RAW MATERIAL ACQUISITION COSTS FOR CIVIL CONSTRUCTION

Abstract. The repercussions of the Brazilian economic recession of 2015 still perpetuate on several industrial sectors. In the civil construction sector, which has become increasingly competitive, especially for micro and small enterprises. Construction costs have gradually increased both by waste during the execution of the works and by financial maneuvers that seek to allow the organization to continue operating and to complete its projects. To help these organizations reduce their spending, this study presents a mathematical model to be used as a support tool for decision-making in the acquisition of raw materials and other resources by companies in the construction industry. Through documentary research, it was possible to collect data, analyze them and perform, through linear programming, the acquisition cost modeling to be used in the procurement process of construction companies and contractors. The model reduced spending by 11.8% when compared to historical data. The results of the comparison allowed to prove, therefore, the applicability of the method and validated its use in the aid of the decision making.

Keywords: *Modeling, Purchase, Civil Construction, Operational Research, Optimization;*