

OTIMIZAÇÃO NA CONTRATAÇÃO DE FRETADORAS PARA DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS

Nathalia Tessari Moraes¹, Bruna Caroline Orlandin², Lucas de Carvalho Borella³, Bruna Gabriele de Matos⁴, Leandro Luís Corso⁵

Resumo: A Pesquisa Operacional desempenha papel fundamental no auxílio para tomada de decisões no planejamento da distribuição dos produtos de uma empresa aos seus clientes. O presente trabalho tem como objetivo mapear os atuais processos de logística e custos de uma empresa de São Paulo para entregar seus produtos a cinco clientes, semanalmente e em cidades diferentes. Após, busca-se modelar o problema por meio da Programação Linear e encontrar uma solução ótima para um novo cenário de distribuição, obtendo a melhor fretadora para cada ocasião e a minimização dos custos da empresa com este serviço. Com esta análise obtiveram-se ganhos para a empresa, com redução de 16,4% nos custos com frete. Portanto, além de evidenciar a ferramenta gerencial utilizada, o presente trabalho serve como modelo para aplicações em casos semelhantes.

Palavras chave: Fretes, Pesquisa Operacional, Programação Linear, Método Simplex.

OPTIMIZATION IN THE CONTRACTING OF PRODUCT DISTRIBUTORS

Abstract: Operational Research plays a key role in assisting decision-making in planning a company's product distribution to its customers. This paper aims to map the current logistics and cost processes of a São Paulo company to deliver its products to five customers, weekly and in different cities. Then research or model a problem through Linear Programming and find an ideal solution for a new distribution scenario, getting the best charter for every occasion and minimizing the company's costs with this service. With this analysis, we obtain the gain for the company, with a 16.4% reduction in freight costs. Therefore, besides showing a generational tool used, the present work serves as a model for applications in specific cases.

Key-words: Freight, Operational Research, Linear Programming, Simplex Method.

1. Introdução

Segundo Ballou (2001) a logística inclui todas as atividades importantes para a disponibilização de bens e serviços aos consumidores quando e onde estes quiserem adquiri-los. Para a competitividade de um produto é indispensável um sistema de transporte eficiente, considerando que o custo do transporte é uma parcela considerável do valor dos produtos (NAZÁRIO, 2000). A fim de atender estas necessidades, é importante que as empresas busquem um dos objetivos da logística, de acordo com Christopher (2007), maximizar as lucratividades por meio da entrega de produtos com menor custo associado.

¹ (Universidade de Caxias do Sul), ntmoraes1@ucs.br.

² (Universidade de Caxias do Sul), bcorlandin@ucs.br.

³ (Universidade de Caxias do Sul), lcborella@ucs.br.

⁴ (Universidade de Caxias do Sul), bgmatos@ucs.br.

⁵ Autor, correspondente, (Universidade de Caxias do Sul), lcorso@ucs.br.

Para isso é importante que a tomada de decisão ao gerenciar a distribuição dos produtos seja efetiva. A Pesquisa Operacional (PO) oferece aos gerentes a capacidade de tomar decisões mais eficazes e de estabelecer sistemas mais produtivos (MOREIRA, 2007). Com a utilização da Programação Linear (PL) é possível estabelecer uma distribuição eficiente de recursos, com a finalidade de atender a um determinado objetivo, como minimização de custos (CORSO; WALLACE, 2015).

No presente trabalho, foram analisados a contratação de fretadoras para distribuir os produtos de uma empresa semanalmente para cinco cidades diferentes do interior de São Paulo e os custos relacionados. Para então, utilizar as técnicas de PO para encontrar um cenário ótimo para a distribuição dos seus produtos, encontrando as fretadoras adequadas e reduzindo os custos da empresa com este serviço.

2. Pesquisa operacional

A PO é conhecida como a ciência da tomada de decisão, uma vez que, por meio de análise matemática ela visa encontrar a solução ótima para um problema. Desde a Revolução Industrial com o crescimento no tamanho e na complexidade das organizações já era possível observar as primeiras características da PO. Entretanto, o surgimento oficial desta área ocorreu após a Segunda Guerra Mundial para resolver problemas de alocação de recursos nas operações militares (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). O sucesso dessas aplicações despertou o interesse do mundo acadêmico e empresarial. Os mesmos passaram a utilizar as técnicas então criadas em problemas de administração (ANDRADE, 2015).

De acordo com Ehrlich (1991, p. 13), a PO é “uma metodologia para estruturar processos aparentemente não estruturados por meio da construção de modelos.” Os modelos permitem que uma tomada de decisão seja testada e bem avaliada antes de ser implementada (ANDRADE, 2015). Em um estudo de PO, primeiramente é definido o problema, após é realizado a coleta dos dados e na sequência é formulado um modelo matemático que representará o problema (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Dentre as diversas técnicas de PO, pode-se destacar a teoria das filas, programação linear, programação dinâmica, problemas dos transportes, teoria dos jogos e cadeias de Markov (LOESCH; HEIN, 2009; HILLIER; LIEBERMAN, 2013). A PL, que é a principal técnica utilizada para solução deste trabalho é apresentada a seguir.

2.1. Programação linear

A PL é considerada um dos maiores avanços do século XX. Esta ferramenta significou para muitas empresas a economia de dinheiro, aumento do lucro e resolução de problemas (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). Após a Segunda Guerra, passou a ser utilizada em pesquisas econômicas e econométricas, tornando-se uma eficaz ferramenta em estudos de gestão. Dentre suas aplicações destacam-se a organização de transportes, estudos de fluxo de caixa e investimento, problemas de produção e políticas de estoque (ANDRADE, 2015).

Segundo Silva *et al.* (2017), a PL é uma das técnicas mais utilizadas devido a simplicidade do modelo e a disponibilidade de programação de uma técnica de solução em computadores. Ainda segundo os mesmos autores, um estudo de PO é desenvolvido seguindo-se algumas etapas: formulação do problema, construção do modelo, cálculo da solução através do modelo, teste do modelo e da solução, estabelecimento de controles da solução e

implementação e acompanhamento da solução.

Um modelo é definido como a representação de um sistema, objeto ou processo real (CARTER; PRICE, 2001). O mesmo é composto por dois tipos de variáveis, as controláveis e as não controláveis (LONGARAY, 2013). O modelo matemático de PL é formado de uma função objetivo linear, e de restrições representadas por um grupo de inequações lineares (SILVA *et al.*, 2017). Moreira (2007) comenta que os principais elementos que existem em um modelo matemático são:

a) função objetivo: é a solução do problema, mede o desempenho do mesmo, sendo uma expressão do que deseja-se minimizar ou maximizar, é formada por uma combinação linear das variáveis de decisão;

b) variáveis de decisão e parâmetros: por meio da função-objetivo, surgem variáveis fundamentais, conhecidas como variáveis de decisão. Os parâmetros são valores fixos que fazem parte do problema;

c) restrições: são expressas na forma de equações ou inequações matemáticas, representam os limites impostos sobre as ações com o objetivo de maximizar ou minimizar a função objetivo.

Tendo em vista que todo problema de PL pode ser representado por meio de uma função objetivo e de um conjunto de restrições, ambos lineares na Equação 1 tem-se o modelo geral de PL (LOESCH; HEIN, 2009):

$$\{Max, Min\} Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \{ =, \leq, \geq \} b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \{ =, \leq, \geq \} b_2 \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \{ =, \leq, \geq \} b_m \end{aligned} \quad (2)$$

Sendo:

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

Onde:

As variáveis x_1, x_2, \dots, x_n , são estruturais do problema, escolhidas para que as restrições sejam satisfeitas e a função objetivo otimizada.

Os coeficientes c_1, c_2, \dots, c_n fazem parte da função objetivo e a_{ij} e b_j são os coeficientes das restrições, ou seja, dos limites a serem considerados.

A função objetivo mostra a meta que se deseja alcançar, pode ser de minimização ($\{Min Z\} = \dots$) ou de maximização ($\{Max Z\} = \dots$).

2.2. Método Simplex

Para a solução de problemas de PL existe uma variedade de recursos matemáticos, dentre eles, alguns algoritmos que possibilitam a resolução de forma eficiente e rápida. O algoritmo Simplex geralmente é utilizado com auxílio de *softwares* (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). Este método é amplamente empregado, uma vez que consegue modelar problemas complexos, produzindo soluções rápidas (FORTES; RIBEIRO; MÜLLER, 2014).

O método Simplex foi desenvolvido em 1947, por uma equipe liderada por George B. Dantzig (BELFIORE e FÁVERO, 2013). O mesmo trabalha com interações e parte de uma solução básica inicial e a cada interação busca uma solução que melhore o valor da função objetivo. Assim, quando o valor ótimo é atingido, o algoritmo finaliza a busca (LOESCH; HEIN, 2009).

Para a aplicação do Simplex, pode-se utilizar o *Softwares* ou pacotes matemáticos dedicados. Dentre eles pode-se citar o *Solver*, que acompanha o pacote de aplicativos do *Microsoft Office Excel*[®] (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). De acordo com Rocha Neto, Deimling e Tosati (2006), o *Solver* leva em consideração as restrições para solucionar problemas com o intuito de maximizar ou minimizar a função objetivo. Ele transforma as desigualdades em igualdades, somando uma variável de folga em cada restrição (MILHOMEN *et al.*, 2015).

3. Metodologia

No trabalho realizado, considerou-se o caso de uma empresa que utiliza o serviço de fretadoras para distribuir os seus produtos em cinco clientes diferentes, sendo cada um em uma cidade diferente do interior de São Paulo.

Para que a logística ocorra da melhor forma, optou-se por fazer uso da PO para obter a melhor tomada de decisão ao escolher qual fretadora usar para cada cliente. Foram então analisados os principais aspectos, como: localização dos clientes, fretadora, custo e demanda, para que o custo seja o mínimo possível.

Por meio da PL foi possível modelar o caso analisado. Para tanto, foram seguidos os seguintes passos:

- a) estruturação da situação atual;
- b) definição da função objetivo;
- c) definição das variáveis do problema;
- d) definição das restrições existentes;
- e) modelagem;
- f) implementação da ferramenta *Solver*;
- g) análise da solução ótima encontrada;
- h) comparação otimização x atual;
- i) análise final dos resultados.

A solução do problema foi atingida com a utilização da ferramenta *Solver*, integrada ao *software Microsoft Excel*[®].

4. Resultados obtidos

A empresa utiliza o serviço de terceiros de três fretadoras diferentes F1, F2 e F3 para realizar a entrega dos seus produtos aos seus cinco clientes aqui analisados. No atual cenário, não há nenhum critério de escolha das fretadoras, não partiu de avaliações analíticas e nem simulações ou otimizações, foram sendo contratadas conforme as necessidades com o decorrer do tempo.

Porém, em uma análise de otimização de contrato de fretes é importante que seja considerado os custos, prazos, restrições de cada fretadora ao distribuir os produtos da empresa. O custo é definido pelas quantidades de caixas que serão transportadas, respeitando a capacidade máxima.

Atualmente, as entregas dos produtos apresentam o seguinte cenário representado no Quadro 1.

QUADRO 1- Custo atual para cada mês.

	Semana 1			Semana 2		
Cidade	Demanda	Fretadora	Custo total	Demanda	Fretadora	Custo total
Cliente 1	23	F2	4.140,00	21	F1	2.520,00
Cliente 2	25;25	F1;F2	23.750,00	24	F2	12.000,00
Cliente 3	15;15	F1;F2	6.300,00	25;14	F2;F3	8.300,00
Cliente 4	20;7	F2;F3	4.200,00	25;3	F1;F2	4.170,00
Cliente 5	15;17	F1;F2	6.230,00	20;20	F2;F3	8.000,00
Total			44.620,00	Total		34.990,00
	Semana 3			Semana 4		
	Demanda	Fretadora	Custo total	Demanda	Fretadora	Custo total
Cliente 1	10;10;10	F1;F2;F3	4.350,00	20	F1	2.400,00
Cliente 2	25;10	F1;F2	16.250,00	15;14	F1;F2	13.750,00
Cliente 3	20;20	F1;F2	8.400,00	25;8	F1;F2	6.760,00
Cliente 4	25;2	F1;F2	4.030,00	20;20;2	F1;F2; F3	6.200,00
Cliente 5	25	F1	5.000,00	15;15;8	F1;F2; F3	7.530,00
Total			38.030,00	Total		36.640,00
	Semana 5			Semana 6		
	Demanda	Fretadora	Custo total	Demanda	Fretadora	Custo total

Cliente 1	25	F3	3.375,00	20;30	F1;F2	7.800,00
Cliente 2	22	F3	10.560,00	20;30	F1;F2	24.000,00
Cliente 3	25;5	F1;F2	6.100,00	25;10	F1;F2	7.200,00
Cliente 4	25;25	F2;F3	8.500,00	20;19	F1;F2	5.660,00
Cliente 5	20;30	F1;F2	9.700,00	25;10	F1;F2	6.900,00
Total			38.235,00	Total		51.560,00
Semana 7			Semana 8			
	Demanda	Fretadora	Custo total	Demanda	Fretadora	Custo total
Cliente 1	20	F3	2.700,00	25	F3	3.375,00
Cliente 2	25	F3	12.000,00	20;20	F1;F2	19.000,00
Cliente 3	25;7	F1;F2	6.540,00	20;20	F1;F2	8.400,00
Cliente 4	15;17	F1;F2	4.630,00	30;20	F1;F2	7.300,00
Cliente 5	20;20	F2;F3	8.000,00	25	F1	5.000,00
Total			33.870,00	Total		43.075,00

Fonte: Os autores (2019).

Considerando as oito semanas analisadas, o custo total da empresa com frete foi de R\$321.020,00. Visto o alto custo da empresa em fretes para distribuir seus produtos e para determinar da uma forma melhor, atendendo suas demandas e como o mínimo custo, foi utilizada as técnicas de PO para modelar o cenário e encontrar o resultado ótimo.

Para isso, foi necessário escolher as variáveis que representariam o modelo, dessa forma, pode-se ver no Quadro 2 as variáveis e seus significados.

QUADRO 2- Custo atual para cada mês.

	Fretadora 1	Fretadora 2	Fretadora 3
Cliente 1	x1	x2	x3
Cliente 2	x4	x5	x6
Cliente 3	x7	x8	x9
Cliente 4	x10	x11	x12
Cliente 5	x13	x14	x15

Fonte: Os autores (2019).

O Quadro pode assim ser interpretado, por exemplo, x_1 é a quantidade de caixas enviadas para o cliente 1 pela fretadora 1 e assim por diante.

As variáveis formam a função objetivo, que representa a função de minimização de custos, sendo que cada uma das variáveis é multiplicada pelo custo unitário da caixa cobrado pela fretadora para cada cliente:

$$\text{Min } f(X) = 120 \cdot x_1 + 180 \cdot x_2 + 135 \cdot x_3 + 450 \cdot x_4 + 500 \cdot x_5 + 480 \cdot x_6 + 200 \cdot x_7 + 220 \cdot x_8 + 200 \cdot x_9 + 150 \cdot x_{10} + 140 \cdot x_{11} + 200 \cdot x_{12} + 200 \cdot x_{13} + 190 \cdot x_{14} + 210 \cdot x_{15}$$

Em seguida, as restrições do modelo precisam ser definidas. Sendo que para a representação, obrigatoriamente todas variáveis devem ser número não-negativos e inteiros. O número máximo de caixas enviadas para cada cliente por cada fretadora é de 25. Podendo ser assim representadas:

- Número máximo de caixas enviadas por cada fretadora é de 25 unidades.
- $x_1 + x_2 + x_3 =$ número de caixas que vai para o cliente 1.
- $x_4 + x_5 + x_6 =$ número de caixas que vai para o cliente 2.
- $x_7 + x_8 + x_9 =$ número de caixas que vai para o cliente 3.
- $x_{10} + x_{11} + x_{12} =$ número de caixas que vai para o cliente 4.
- $x_{13} + x_{14} + x_{15} =$ número de caixas que vai para o cliente 5.
- Todas variáveis possuem valor igual ou maior que zero.
- Todas variáveis são números inteiros.

Por meio da modelagem no software foi possível estipular o melhor cenário para a distribuição dos produtos da empresa, tendo um custo mínimo. No Quadro 3 a seguir está representado para cada semana qual a quantidade e a transportadora ideal.

QUADRO 3 - Resultado da otimização para o período.

	Semana 1		Semana 2	
	Número de Caixas	Fretadora	Número de Caixas	Fretadora
Cliente 1	23	F1	21	F1
Cliente 2	25;25	F1;F3	24	F1
Cliente 3	25;5	F1;F3	25;14	F1;F3
Cliente 4	2;25	F1;F2	3;25	F1;F2
Cliente 5	7;25	F1;F2	15;25	F1;F2
	Custo total	37.185,00	Custo total	28.045,00
	Semana 3		Semana 4	
	Número de Caixas	Fretadora	Número de Caixas	Fretadora
Cliente 1	25;5	F1;F3	20	F1

Cliente 2	25;10	F1	25;4	F1;F3	
Cliente 3	25;15	F1;F3	25;8	F1;F3	
Cliente 4	2;25	F1;F2	17;25	F1;F2	
Cliente 5	25	F2	13;25	F1;F2	
	Custo total	31.500,00	Custo total	30.795,00	
		Semana 5		Semana 6	
	Número de Caixas	Fretadora	Número de Caixas	Fretadora	
Cliente 1	25	F1	25;25	F1;F3	
Cliente 2	22	F1	25;25	F1;F3	
Cliente 3	25;5	F1;F3	25;10	F1;F3	
Cliente 4	25;25	F1;F2	4;24	F1;F2	
Cliente 5	25;25	F1;F2	10;25	F1;F2	
	Custo total	31.125,00	Custo total	42.700,00	
		Semana 7		Semana 8	
	Número de Caixas	Fretadora	Número de Caixas	Fretadora	
Cliente 1	20	F1	25	F1	
Cliente 2	25	F1	25;15	F1;F3	
Cliente 3	25;7	F1;F3	25;15	F1;F3	
Cliente 4	7;25	F1;F2	25;25	F1;F2	
Cliente 5	15;25	F1;F2	25	F2	
	Custo total	27.575,00	Custo total	36.675,00	

Fonte: Os autores (2019).

Após a otimização, pode-se considerar que o custo total das 8 semanas é de R\$ 268.350,00.

No entanto, torna-se possível realizar a comparação entre o custo realizado em fretes da empresa e o custo simulado por meio de dados históricos inseridos no modelo de otimização. Desta forma, a Quadro 4 representa a comparação.

QUADRO 4 - Comparação dos custos.

Semanas	Custo Atual	Custo proposto
1	44.620,00	37.185,00
2	34.990,00	30.795,00
3	38.030,00	31.500,00
4	36.640,00	30.795,00
5	38.235,00	31.125,00
6	51.560,00	42.700,00
7	33.870,00	27.575,00

8	43.075,00	36.675,00
Total	321.020,00	268.350,00

Fonte: Os autores (2019).

A partir da comparação, foi possível verificar a eficácia da otimização realizada, apresentando uma diferença de R\$ 52.670,00 dos custos com frete caso a empresa tivesse utilizado o modelo matemático durante o período histórico analisado, o que representaria um valor 16% menor. Essa redução impacta diretamente no lucro da empresa. Além disso, garantindo melhor logística, garante-se também uma qualidade melhor e maior competitividade.

5. Considerações finais

Para analisar o cenário atual e conseguir entender uma forma melhor para organizar a distribuição de produtos de uma empresa, foram utilizadas as técnicas de pesquisa operacional para modelar e resolver o problema representado. Com isso, foi possível comparar o custo atual da empresa com fretes e como poderia ser e a redução de custo que pode atingir.

Desta forma, verificou-se que no período analisado, de 8 semanas, por meio da otimização é possível alcançar uma redução de R\$ 52.670,00 de custos com fretes. O valor pode ser avaliado como significativo, considerando o curto período de apenas 2 meses. A empresa possui um custo alto para distribuir seus produtos e essa redução alcançada com a programação linear é bastante expressiva.

Esta técnica de PO é parte do conjunto de ferramentas que fazem parte desta área e pode gerar ganhos significativos para as empresas. Ao melhorar a logística e reduzir os custos com frete uma margem é gerada para novos investimentos, garantindo para a empresa maior eficiência e competitividade.

Contudo, o estudo aqui representado pode contribuir para evidenciar esta ferramenta gerencial, além de servir como modelo para empresas que tenham um cenário similar de distribuição dos seus produtos e com contrato de fretes.

Referências

ANDRADE, Eduardo Leopoldino. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookmann, 2001.

BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CARTER, Michael W.; PRICE, Camille C. **Operationsresearch: a practical introduction**. Boca

Raton: CRC Press, 2001.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Thomson, 2007.

CORSO, L. L.; WALLACE, M.. *A hybrid method for transportation with stochastic demand*. **International Journal of Logistics**, 2015, v. 18, p. 1-13.

EHRlich, Pierre J. **Pesquisa operacional**: curso introdutório. 7. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

FORTES, Bianca Jupiara; RIBEIRO, Roberto Portes; MÜLLER, Felipe Martins (Ed.). **Programação Linear**: Uma aplicação para a otimização na distribuição de uma empresa de nutrição animal. *Espacios*, Caracas, v. 35, n. 11, p.12-12, ago. 2014. Disponível em: <<https://www.revistaespacios.com/a14v35n11/14351112.html>>. Acesso em: 16ago. 2019.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

LOESCH, Cláudio; HEIN, Nelson. **Pesquisa operacional**: fundamentos e modelo. São Paulo: Saraiva, 2009.

LONGARAY, André Andrade. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

MILHOMEN, Danilo A.; PORTO, Melissa L.; MACHADO, Alexandre A.; LIMA, Adriane C.; TEIXEIRA, Alan A. **Utilização da programação linear e do método simplex para otimização da produção de pães em uma empresa de panificação**. In: Anais... **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP)**, 35. 2015. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/tn_stp_211_250_27162.pdf> . Acesso em: 18 ago. 2019.

NAZÁRIO, Paulo. **Logística empresarial**: a perspectiva brasileira. São Paulo: Atlas, 2000.

ROCHA NETO, Anselmo; DEIMLING, Moacir F.; TOSATI, Marcus C. **Aplicação da programação linear no planejamento e controle de produção: definição do mix de produção de uma indústria de bebidas**. In: Anais... **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (SIMPEP)**, 13. 2006. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/786.pdf> . Acesso em: 18 ago. 2019.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa Operacional**: curso introdutório. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

SILVA, E. M.; SILVA, E. M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. **Pesquisa Operacional para os cursos de administração e engenharia**: programação linear: simulação. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2017.