

# **PROGRAMAÇÃO LINEAR: UM ESTUDO DE CASO SOBRE OS CUSTOS DE TRANSPORTE EM UMA EMPRESA DO RAMO DE ALIMENTOS DE FARROUPILHA - RS**

Bruna Caroline Orlandin (UCS) bcorlandin@ucs.br  
Leandro Luis Corso (UCS) llcorso@ucs.br

## **Resumo**

No mercado competitivo atual, a forma com que as empresas utilizam recursos para produzir bens e serviços pode fazer a diferença. Por esta razão, ao buscarem maior eficiência e otimização na alocação dos recursos, as organizações devem levar em conta as limitações e/ou restrições existentes, objetivando o menor custo logístico. Neste contexto, foram desenvolvidos métodos utilizando Pesquisa Operacional que visam à resolução do problema dos altos custos de transporte, sendo abordado o ramo de Problema dos Transportes. O objetivo desse artigo é encontrar uma forma de minimizar os custos de transporte de uma empresa do ramo de alimentos, localizada em Farroupilha - RS, por meio do uso da Programação Linear. Foi construído o modelo matemático e feita a comparação das informações sobre a atual situação da empresa com o cenário gerado pela modelagem matemática. O uso da Programação Linear (PL) indicou à empresa uma redução de cerca de 11,3% dos seus custos logísticos mensais no estado do Paraná.

**Palavras-Chaves:** Programação Linear, Problema dos Transportes, Pesquisa Operacional

## **1. Introdução**

A atual situação econômica do país somada ao aumento constante da competitividade exigem as empresas a serem cada vez mais eficientes e a buscarem novas tecnologias. É necessário cada vez mais rápido decidir como disponibilizar seus produtos, atendendo os requisitos de qualidade e prazo de entrega que o mercado precisa, de forma a obter o maior retorno possível com o menor custo, ou seja, otimizar seus processos.

Na maioria das empresas o transporte é o elemento mais importante do custo de logística. Dependendo do volume que ser transportar, das tarifas, das distâncias, e dentre outros fatores, um transporte de qualidade e a baixos custos contribui para reduzir o preço dos produtos.

Devido a sua grande importância, o transporte também pode influir na escolha da localização geográfica da empresa.

É neste contexto que foram desenvolvidos métodos utilizando a Pesquisa Operacional (PO) que visam a resolução do problema dos altos custos de transporte, sendo abordado dentro deste, o ramo de Problema de Transporte.

O Problema de Transporte é um problema de fluxo em rede e foi desenvolvido entre 1941 e 1942 por Koopmans e Kantorovitch. Esse problema busca encontrar as rotas para a transferência de cargas de diferentes origens para diferentes destinos minimizando os seus custos (PASSOS, 2008).

O objetivo principal do presente trabalho é encontrar uma forma de minimizar os custos de transporte de uma empresa do ramo de alimentos, localizada em Farroupilha - RS, por meio do uso da Programação Linear. Sujeitando a restrições de distância e rotas de origem-destino.

O artigo está organizado de acordo com a seguinte estrutura: na seção dois é apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre pesquisa operacional; na seção três é mostrada a metodologia de aplicação empregada no trabalho e os resultados obtidos; e na quarta seção são apresentadas as conclusões.

## **2. Pesquisa Operacional**

A expressão “Pesquisa Operacional” foi utilizada pela primeira vez durante a Segunda Guerra Mundial, quando equipes de pesquisadores procuraram desenvolver métodos para resolver determinados problemas de operações militares. O sucesso dessas aplicações levou o mundo acadêmico e empresarial a procurar utilizar as técnicas então criadas em problemas de administração (ANDRADE, 2015).

Várias são as definições atribuídas ao termo. Para Moreira (2007) problemas que visam à condução e gestão de determinadas operações em uma organização é tratado pela PO. O campo da PO possui ampla aplicabilidade em diversas áreas, como indústria, transportes, telecomunicações, finanças, saúde, serviços públicos e operações militares.

Silva et al. (2017) definem a PO como um método científico de tomada de decisões. Consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema.

A PO de acordo com Longaray (2013) é amplamente empregada nos mais diversos setores da sociedade na busca pela resolução de problemas e busca auxiliar as pessoas a tomarem decisões. A partir de 1950 no pós-guerra passou a ser muito utilizada pelas empresas devido a

objetividade de suas técnicas que traduzem de forma objetiva, clara e estruturada as situações problemas vivenciadas no dia a dia.

Com objetivo de identificar o melhor caminho a percorrer, a PO adota um ponto de vista organizacional, sempre buscando a melhor solução para a organização como um todo. Ela envolve a pesquisa sobre as operações e é aplicada a problemas que englobam a condução e coordenação das atividades em uma empresa (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Segundo Silva et al. (2017) um estudo de PO deve desenvolver-se segundo algumas etapas. Essas etapas são: 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.

Os modelos que interessam em PO são os modelos matemáticos. O modelo matemático de programação linear é composto de uma função objetivo linear, e de restrições técnicas representadas por um grupo de inequações também lineares.

Moreira (2007) esclarece os principais elementos que existem em um modelo matemático:

- Variáveis de decisão e parâmetros: por meio da função-objetivo, surgem variáveis fundamentais, essas variáveis são denominadas de variáveis de decisão. Os parâmetros são valores fixos no problema;
- Restrições: retratam a insuficiência dos recursos e os limites impostos sobre as ações, com o objetivo de maximizar a função-objetivo;
- Função Objetivo: é uma função matemática formada por uma combinação linear das variáveis de decisão.

### **3. Metodologia de aplicação**

A metodologia aplicada consiste em utilizar revisões de literatura fundamentadas por livros e artigos científicos, com a finalidade de esclarecer ideias, realizando um estudo de caso em uma empresa do ramo de alimentos. Pode definir-se que o estudo de caso “consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento.” (GIL, 2010, p.37).

Com o objetivo de realizar a modelagem do problema, foi solicitado para a empresa os dados relativos ao período atual, em relação aos custos e a destinação dos seus produtos para os clientes no estado do Paraná. Investigaram-se os custos para os locais de entrega, e os limites

de carga. A análise dos dados foi realizada por meio de modelos matemáticos de Programação Linear (PL). A forma geral ou padrão de um problema de PL é estruturada da maneira descrita a seguir (BARBOSA, 2015, p. 28):

$$\text{Max } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

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

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

.

.

.

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

Em que os termos  $a_{ij}$ ,  $b_i$  e  $c_j$  são coeficientes das equações e inequações que descrevem no problema os números de quantidade, valor e custos (considere  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ; e  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

As variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_n$  são escolhidas de forma que as restrições sejam satisfeitas e a função objetivo otimizada.

Os termos  $b_1, b_2, \dots, b_m$  são chamados parâmetros da função, nos quais se representam as limitações das restrições.

As restrições  $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$  são chamadas restrições de não negatividade, Elas ocorrem porque, na maioria das vezes, não podemos ter quantidades negativas de produtos ou de recursos.

Para possibilitar a realização dos cálculos do problema, foi utilizado o *software Microsoft Excel 2010*, com o suplemento *Solver*.

### **3.1. Descrição e análise dos resultados**

Identificou-se na empresa que o transporte dos alimentos é realizado pela mesma e a escolha do depósito pelo qual embarcará os alimentos é feito de forma intuitiva, uma vez que, os alimentos podem partir de um depósito ou do outro.

Devido a isso e sem uma análise de otimização, a empresa pode ter custos desnecessários com transporte o que impacta diretamente nos lucros da mesma. Com o objetivo de otimizar os custos de transporte e melhorar o processo de tomada de decisão, o estudo realizou um processo de modelagem matemática por meio de programação linear.

A empresa destina seus produtos para todos os estados do País. Para este estudo foi abordado os sete clientes atendidos no estado do Paraná, devido ao seu volume e periodicidade de compra.

Os custos foram baseados nos caminhões do tipo *truck*, que viajam para os clientes mencionados. O custo do frete está relacionado ao número de quilogramas transportado.

### 3.1.1. Custos da logística de transportes por quilograma

O custo do quilograma enviado é apresentado na Tabela 01.

Tabela 01 – Custo do quilograma enviado por depósito para cada cliente

	Cliente 1	Cliente 2	Cliente 3	Cliente 4	Cliente 5	Cliente 6	Cliente 7
<b>Depósito 1</b>	R\$ 0,21	R\$ 0,25	R\$ 0,24	R\$ 0,20	R\$ 0,21	R\$ 0,25	R\$ 0,20
<b>Depósito 2</b>	R\$ 0,28	R\$ 0,20	R\$ 0,18	R\$ 0,22	R\$ 0,23	R\$ 0,21	R\$ 0,18

Fonte: dados da pesquisa

A demanda mensal por cliente é apresentada na Tabela 02.

Tabela 02 – Demanda mensal de cada cliente

Cliente	Cliente 1	Cliente 2	Cliente 3	Cliente 4	Cliente 5	Cliente 6	Cliente 7	Total
<b>Demanda (kg)</b>	15.000	13.000	9.000	10.000	7.000	8.000	5.000	67.000

Fonte: dados da pesquisa

Na Tabela 03 consta a configuração atual da quantidade de quilos enviada de cada depósito para cada cliente nos dez primeiros meses de 2017. No formato atual, o custo mensal total é de R\$ 15.175,00.

Tabela 03 – Quantidade de quilos enviada de cada depósito no cenário atual

	Cliente 1	Cliente 2	Cliente 3	Cliente 4	Cliente 5	Cliente 6	Cliente 7	Total
<b>Depósito 1</b>	7.500	11.000	6.000	500	2.000	1.500	1.500	30.000
<b>Depósito 2</b>	7.500	2.000	3.000	9.500	5.000	6.500	3.500	37.000

Fonte: dados da pesquisa

### 3.1.2. Minimização dos custos da logística de transportes

O modelo matemático foi construído para o tratamento do problema de minimização de custos. O cenário de demanda utilizado foi a média dos dez primeiros meses de 2017. O modelo matemático determinou de qual depósito deveria sair os produtos para cada cliente minimizando os custos.

As variáveis se resumem em a quantidade de quilogramas a serem enviadas para cada destino pelos depósitos. Sendo assim, as variáveis relevantes do problema são:

C11 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 1 pelo depósito 1

C12 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 2 pelo depósito 1

C13 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 3 pelo depósito 1

C14 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 4 pelo depósito 1

C15 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 5 pelo depósito 1

C16 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 6 pelo depósito 1

C17 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 7 pelo depósito 1

C21 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 1 pelo depósito 2

C22 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 2 pelo depósito 2

C23 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 3 pelo depósito 2

C24 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 4 pelo depósito 2

C25 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 5 pelo depósito 2

C26 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 6 pelo depósito 2

C27 – quantidade de quilogramas a serem enviados para o cliente 7 pelo depósito 2

As variáveis de decisão que vão de C11 a C17 e C21 a C27 representam a quantidade de quilogramas a serem enviadas dos depósitos 1 e 2. Logo, são os valores procurados para a solução do problema, considerando o custo de cada kg para cada cliente. A função objetivo é assim representada:

$$\text{Minimizar } Z = 0,21 \cdot C11 + 0,25 \cdot C12 + 0,22 \cdot C13 + 0,20 \cdot C14 + 0,21 \cdot C15 + 0,25 \cdot C16 + 0,20 \cdot C17 + 0,19 \cdot C21 + 0,20 \cdot C22 + 0,18 \cdot C23 + 0,22 \cdot C24 + 0,23 \cdot C25 + 0,21 \cdot C26 + 0,18 \cdot C27$$

As limitações do modelo matemático foram dadas pela empresa, que restringiu o número máximo de quilogramas que saem de cada depósito, 30.000 kg do depósito 1 e 37.000 kg do 2. Outra restrição é o que cada cliente deseja receber. Para os clientes de 1 a 7, a necessidade é: 15.000, 13.000, 9.000, 10.000, 7.000, 8.000 e 5.000 kg, respectivamente. As restrições de origem e destino podem ser assim representadas:

$$C11 + C12 + C13 + C14 + C15 + C16 + C17 \leq 34000$$

$$C21 + C22 + C23 + C24 + C25 + C26 + C27 \leq 30000$$

$$C11 + C21 = 10000$$

$$C12 + C22 = 13000$$

$$C13 + C23 = 9000$$

$$C14 + C24 = 10000$$

$$C15 + C25 = 7000$$

$$C16 + C26 = 8000$$

$$C17 + C27 = 3000$$

Feita a simulação a melhor configuração logística irá gerar um custo mensal de R\$ 13.460,00.

A Tabela 04 apresenta estes dados.

Tabela 04 – Quilogramas que devem ser enviados por cada depósito para o custo mínimo

	Cliente 1	Cliente 2	Cliente 3	Cliente 4	Cliente 5	Cliente 6	Cliente 7	Total
<b>Depósito 1</b>	15.000	0	0	8.000	7.000	0	0	30.000
<b>Depósito 2</b>	0	13.000	9.000	2.000	0	8.000	5.000	37.000

Fonte: dados da pesquisa

A melhor configuração logística é enviar 15.000 kg para o cliente 1 do depósito 1, 13.000 kg para o cliente 2 do depósito 2, 9.000 kg para o cliente 3 do depósito 2, 8.000 kg do depósito 1 e 2.000 kg do depósito 2 para o cliente 4, 7.000 kg do depósito 2 para o cliente 5, 8.000 kg para o cliente 6 do depósito 2 e 5.000 kg para o cliente 7 do depósito 1. O fato de haver entrada dos depósitos 1 e 2 para o cliente 4 evidencia a importância de se utilizar o modelo matemático e não simplesmente olhar o menor custo de forma pontual para cada cliente.

A tabela 05 apresenta um comparativo entre os custos do modelo atual com o modelo proposto por meio da Programação Linear.

Tabela 05 – Comparativo de custos: situação atual versus aplicação da minimização

	Custo situação atual	Custo aplicando minimização
<b>Média</b>	R\$ 15.175,00	R\$ 13.460,00

Fonte: dados da pesquisa

Por meio da análise dos resultados verificou-se que há uma possível minimização dos custos por meio do modelo matemático realizado com o uso de Programação Linear. Os dados obtidos indicam que a empresa pode reduzir cerca de 11,3% dos seus custos logísticos mensais com a reorganização das entregas.

#### 4. Conclusões

Realizou-se uma pesquisa na empresa estudada para encontrar uma forma de minimizar os custos de transporte no estado do Paraná utilizando a PL. Coletaram-se dados junto à empresa referente aos custos de transporte por quilograma de alimento transportado e aos depósitos onde os produtos são armazenados antes da distribuição a cada cliente.

Foi construído o modelo matemático e feita a comparação das informações sobre a atual situação da empresa com o cenário gerado pela modelagem matemática. O uso da PL indicou à empresa uma redução de cerca de 11,3% dos seus custos logísticos mensais, atingindo o objetivo desde trabalho.

A relevância do trabalho consiste em uma contribuição para a própria empresa, indicando que uma análise mais minuciosa de toda a logística de transporte, abrangendo outras regiões, pode representar uma redução considerável nos custos de transporte, por meio da prática da Pesquisa Operacional.

Como sugestões futuras, tem-se a aplicação de outras técnicas de Pesquisa Operacional e uma coleta maior de dados, aprofundando-os para uma análise mais completa.

## **REFERÊNCIAS**

- ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões.** 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- BARBOSA, M. A.; ZANARDINI, R. A. D. **Iniciação à pesquisa operacional no ambiente de gestão.** 3 ed. Curitiba: InterSaber, 2015, 222 p.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional.** 9 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- LONGARAY, André Andrade. **Introdução à Pesquisa Operacional.** 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2013.
- MOREIRA, D. A. **Pesquisa Operacional: curso introdutório.** São Paulo: Thomson Learning, 2007, 356 p.
- PASSOS, E. J. P. F. **Programação linear como instrumento da pesquisa operacional.** São Paulo: Atlas, 2008, 451 p.
- 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, 162 p.