

PROGRAMAÇÃO LINEAR E GERENCIAMENTO DE ESTOQUE EM UMA LOJA DE ARTIGOS ELETRÔNICOS⁴

**Nathan José Mota Garcia
Romenique José Avelar
Tiago Rodrigues da Costa
Tulio Kennedy Oliveira Gaipo
João Flávio de Freitas Almeida**

1. Introdução

O setor de eletroeletrônicos prevê faturar R\$133,4 bilhões em 2017. Embora o valor seja 3% maior em relação ao faturamento de 2016, nos últimos quatro anos o setor tem apresentado queda no faturamento e na produção física, o que leva à redução do uso da capacidade produtiva e do número de empregados (ABINEE, 2017). Nesse cenário, as empresas do setor enfrentam desafios relacionados à redução dos custos operacionais e logísticos.

No Brasil há uma carência de informações atualizadas sobre custos logísticos. Quando estes dados não representam a realidade, fica difícil avaliar o desempenho das operações ou compará-las ao

⁴ Este capítulo foi originalmente publicado em forma de artigo nos anais do XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, realizado em Fortaleza de 13 a 16 de outubro de 2015.

desempenho de outros países. Além de tudo, a falta de um histórico inviabiliza a análise da evolução do custo logístico (LIMA, 2006). Os custos logísticos englobam, dentre outros, os relacionados ao transporte, à movimentação e aos estoques.

Empresas industriais ou comerciais têm dificuldade em fazer o dimensionamento dos estoques. Um dos motivos é a falta de uma metodologia adequada. A manutenção de estoques e a variação no seu tamanho são parâmetros que tem influência no custo, e estes devem ser rateados para o custo dos produtos. O aumento no custo do produto pode gerar duas consequências negativas: a primeira é reduzir a margem de lucro, quando se mantém o preço de venda; e a segunda é manter a margem de lucro, mas aumentar o preço de venda. A última alternativa pode, ainda, comprometer a competitividade da empresa frente a seus concorrentes. Por isso, a redução de custos de estoques é um objetivo compartilhado por empresas dos mais diversos segmentos de atuação e de porte.

A empresa alvo deste estudo situa-se em uma cidade do centro-oeste mineiro. Ela atua no segmento de comercialização de artigos eletroeletrônicos. A demanda de seus produtos é variada, assim, por desconhecer técnicas eficientes para resolver esse problema, a empresa mantém grandes volumes de estoque, evitando perda de vendas. Este trabalho tem como enfoque a avaliação dos estoques da empresa e a aplicação de um método para minimizar os custos de estocagem, a partir da modelagem matemática e da programação linear, técnicas de Pesquisa Operacional. Prezou-se pelo uso de um modelo matemático simplificado, capaz de atender a demanda dessa empresa de pequeno porte, com o uso de uma metodologia viável financeiramente e que pode ser facilmente replicada. A contribuição científica do estudo consiste em demonstrar a aplicabilidade da Pesquisa Operacional como ferramenta de apoio à tomada de decisões no cotidiano das empresas.

A estrutura desse trabalho baseia-se em fazer uma revisão da literatura, aprofundando o entendimento sobre a gestão de estoques e seu impacto nas organizações, e o entendimento do modo

como a Pesquisa Operacional pode auxiliar a modelagem de operações de forma a reduzir os custos de estoques. Além disso, são apresentados os métodos e as técnicas utilizados na realização da pesquisa. Coletou-se dados dos tipos de produtos comercializados pela empresa, do histórico de vendas dos últimos doze meses, dos preços e compras de cada produto, bem como do custo de armazenagem de cada mercadoria. Na sequência, um modelo matemático foi elaborado e implementado computacionalmente por meio do software livre *Gnu Linear Programming Kit* (GLPK) (MAKHORIN, 2008), pela interface do GUSEK. Posteriormente é feita a análise dos resultados e a comparação com a situação real, de modo a constatar a eficiência da programação linear no auxílio do gerenciamento do estoque e na redução dos custos. Finalmente, concluímos sobre o resultado eficaz de redução de custos na empresa estudada e refletimos sobre a importância da Pesquisa Operacional para a melhoria dos resultados de empresas do mesmo porte.

2. Revisão de literatura

O estoque é um fator estratégico para as empresas, pois viabiliza o atendimento da demanda de forma continuada, assim, mesmo que apareçam problemas no setor de suprimentos ou de manufatura da empresa, a produção não para por falta de matéria prima e os clientes recebem seus produtos dentro do prazo. Dessa forma, uma das maneiras de garantir o atendimento é manter estoques em níveis altos. Contudo, embora os estoques apresentem as vantagens apresentadas, existe o custo de mantê-los, os quais influenciam o resultado financeiro da empresa. Nesse caso, a previsão de demanda e o planejamento das vendas têm um papel fundamental do dimensionamento dos estoques e na manutenção de um bom nível de atendimento ao cliente (SCHWITZKY, 2001).

Estoques de produtos regulam as diferenças entre as taxas de produção dos produtos e de demanda do mercado. Essas diferenças podem ter sua origem em função de decisões gerenciais ou por

ocorrências inesperadas, por isso é necessário ter estoque (CORRÊA, GIANESI E CAON, 2000).

Segundo Moreira (2006) estoques são recursos armazenados de forma improdutiva por determinado período de tempo, sendo estes de matéria-prima e de produtos acabados, esperando para serem comercializados. De acordo com Tadeu (2010, p. 8), “A gestão de estoques lida com a administração de itens e do fluxo destes ao longo de toda organização”. Além disso, os estoques são visto de diferentes formas na organização: para o setor operacional, são o meio de assegurar a produção com demandas variadas, enquanto que, para o setor financeiro, são recursos financeiros que geram custo (MOREIRA, 2006).

Segundo Moraes *et al.* (2015), “O custo pode ser entendido como sacrifício financeiro relativo à aquisição de bens e serviços que serão utilizados na produção de outro bem ou serviço”. No passado, o custo de estoque ou armazenagem era considerado irrelevante para as empresas, porém, com o desenvolvimento industrial, o número de itens em estoque aumentou consideravelmente e, junto com este, seu custo. Tal custo deixou de ser irrelevante e tornou-se fator que merece grande importância nas empresas. Para reduzir os custos com estoques, recorre-se às técnicas de Pesquisa Operacional.

A Pesquisa Operacional teve sua origem no ano de 1938, para alocar recursos escassos a várias operações militares na Segunda Guerra Mundial. Terminado o conflito, deu-se início à Pesquisa Operacional propriamente dita nas organizações (MOREIRA, 2013, p.2).

Pesquisa Operacional lida com problemas de como conduzir e coordenar certas operações em uma organização, e têm sido aplicada a diversas áreas, tais como: indústria, transportes, telecomunicações, finanças, saúde, serviços públicos, operações militares, etc. (MOREIRA, 2013, p.3).

De acordo com Arenales *et al.* (2007), modelos matemáticos são traduções de leis que regem fenômenos, processos ou sistemas,

possíveis de serem modelados a partir das relações matemáticas. Logo, a Pesquisa Operacional é uma ferramenta científica de extrema importância que auxilia engenheiros de produção a tomarem decisões complexas, possibilitando a alocação ótima de recursos escassos.

Com os conceitos discutidos, percebe-se que os custos referentes à estocagem, devem ser bem geridos, de modo que tenham pouca influência no custo final dos produtos. Assim, o uso da Pesquisa Operacional é indicado como uma boa alternativa, pois usa métodos científicos, como a Programação Linear, para reduzir os custos ou para aumentar o lucro das organizações, pela elaboração e implementação de modelos matemáticos.

A Programação Linear é uma das técnicas mais empregadas na abordagem de problemas em Pesquisa Operacional, pois além da simplicidade do modelo envolvido, também tem sua aplicação facilitada por possuir uma técnica de solução programável em computador. A ferramenta é mais comumente empregada em sistemas estruturados, como os de produção, de controles de estoque, de finanças, etc. (SILVA *et al*, 1998).

O modelo matemático de programação linear é composto de uma função objetiva linear, e de restrições técnicas representadas por um grupo de inequações também lineares. (SILVA *et al*, 1998, p. 14).

O exemplo abaixo se refere a um modelo matemático de programação linear criado por Silva *et al* (1998). Ele é formado pela Eq. (1) e pela função objetivo de maximizar o lucro $f(x)$, estando sujeito às restrições técnicas do processo (2) e (3) e às restrições de não negatividade (4) e (5).

$$\text{Maximizar Lucro} = 2x_1 + 3x_2 \quad (1)$$

Sujeito à:

$$4x_1 + 3x_2 \leq 10 \quad (2)$$

$$6x_1 - x_2 \geq 20 \quad (3)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \quad (4) (5)$$

Onde, x_1 e x_2 são variáveis de decisão, para medir o desempenho do sistema apresentado na função objetivo, ou seja, a capacidade de gerar lucro para cada solução. Para garantir que as barreiras técnicas impostas pelo sistema sejam satisfeitas, são criadas as restrições (2) e (3) e as restrições de não negatividade, como ilustrado nos paradigmas (4) e (5). A parte mais complexa é o desenvolvimento do modelo matemático, pois não há uma regra fixa para a realização desse processo. Para facilitar a construção do modelo, sugere-se a utilização do seguinte roteiro:

- a. Definir as variáveis de decisão, que podem ser o quanto produzir e estocar num período para programar a produção, ou o quanto investir em se tratando de um problema de programação de investimento, ou seja, vai depender do problema a ser abordado.
- b. Determinar o objetivo, que pode ser de maximização dos lucros ou minimização dos custos, etc. Este objetivo é traduzido na função objetivo.
- c. Decidir as restrições que devem ser expressas como uma afinidade linear de igualdade ou desigualdade, elaborada com as variáveis de decisão.

3. Metodologia

Este trabalho se trata de um estudo de caso, que, segundo Ventura (2017), representa um “instrumento de investigação, uma modalidade de pesquisa que pode ser aplicada em diversas áreas do conhecimento”. Os benefícios em usar essa modalidade de pesquisa estão na possibilidade do desenvolvimento de nova teoria e de

umentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos (MIGUEL, 2007).

De acordo com sua natureza, esta é uma pesquisa aplicada, na qual o interesse é buscar soluções que atendam à uma loja de artigos eletrônicos, no que diz respeito ao melhor gerenciamento de estoques, por meio da elaboração de um modelo matemático que proporcione a redução dos custos inerentes à formação de estoques, além de fornecer informações sobre o quanto à empresa deve comprar de produtos.

O estudo tem uma abordagem quantitativa, em que é realizada a coleta de dados para formular o modelo matemático, além de verificar sua eficiência em fornecer informações para a tomada de decisão na empresa, objeto de estudo deste trabalho. Dessa forma, para calcular o *custo de estoque*, ou custo de armazenamento, adota-se a equação (CARLOMAGNO, 2006):

$$H = \frac{Q}{2} \times P \times T \times I \quad (6)$$

Onde as variáveis representam:

H Custo de estoque ou custo de armazenagem;

Q Quantidade de material em estoque no tempo considerado;

P Preço unitário do material;

I Taxa de armazenagem;

T Tempo considerado de armazenagem.

Os valores podem ser obtidos coletando-se os dados na empresa onde se deseja efetuar o cálculo do custo de armazenagem, exceto a taxa de armazenagem (*I*), esta pode ser obtida por meio da equação (7):

$$I = I_a + I_b + I_c + I_d + I_e + I_f \quad (7)$$

Em que:

I_a Taxa de retorno de capital;

I_b Taxa de armazenagem físico;

- I_c Taxa de seguro;
 I_d Taxa de transporte, manuseio e distribuição;
 I_e Taxa de obsolescência;
 I_f Outras taxas.

Os valores acima podem ser encontrados pelas seguintes equações:

$$I_a = \frac{100 \times \text{Lucro}}{(\text{Valor de estoque})} \quad (8)$$

$$I_b = \frac{100 \times (\text{Custo anual do armazenamento}) \times (\text{Área ocupada pelo estoque})}{(\text{Consumo anual}) \times (\text{Preço unitário})} \quad (9)$$

$$I_c = \frac{100 \times (\text{Custo anual de seguro})}{(\text{Valor de Estoque}) + (\text{Edifício})} \quad (10)$$

$$I_d = \frac{100 \times (\text{Depreciação anual do equipamento})}{(\text{Valor de Estoque})} \quad (11)$$

$$I_e = \frac{100 \times (\text{Perdas anuais por obsolescência})}{(\text{Valor de Estoque})} \quad (12)$$

$$I_f = \frac{100 \times (\text{Despesas anuais})}{(\text{Valor de Estoque})} \quad (13)$$

É relevante citar que a empresa não possuía planejamento sobre a quantidade de produtos comprados e estocados, evidenciando a necessidade de utilização de algum método eficaz para tal fim. Optou-se, então, pelo desenvolvimento de um modelo matemático capaz de obter a melhor combinação de quantidades de produtos comprados e estocados. Havendo demanda pelos produtos, é de suma importância supri-la. Destaca-se, também, que a melhor combinação está associada à um custo mínimo de estocagem. O

modelo matemático para resolver o problema pode ser observado a seguir:

Considerando os conjuntos:

M Conjunto de produtos, $i = 1, \dots, m$

T Períodos de Planejamento, $i = 1, \dots, T$

Coletam-se os dados (ou parâmetros):

E_i Estoque inicial do produto i

D_{it} Previsão de demanda do produto i no período t

K_i Custo unitário do produto i

H_i Custo unitário de estoque do produto i

Consideramos as seguintes variáveis de decisão:

X_{it} Quantidade a ser comprada do produto i no período t

S_{it} Quantidade a ser estocada do produto i no período t

Formulando o modelo matemático:

$$\text{MinimizarCusto} = \sum_{i=1}^m \sum_t^T K_i x_{it} + H_i s_{it} \quad (14)$$

Sujeito a:

$$s_{it} = E_i \quad \forall i \in M, t=0 \quad (15)$$

$$x_{it} + s_{it-1} = D_{it} + s_{it} \quad \forall i \in M, \forall t \in T \quad (16)$$

$$s_{it} \geq 0, \forall D_{it} \quad \forall i \in M, \forall t \in T \quad (17)$$

Sobre os paradigmas, cabe elucidar que: a função objetivo (14) busca a minimização dos custos totais (soma do custo de compra com o custo de estoque); a restrição (15) é responsável por atribuir os valores do estoque inicial (pré-estipulado) à quantidade estocada do produto i no período inicial ($t=0$); a restrição (16) simboliza o balanço de fluxo da quantidade de produtos comprados, estocados e vendidos, de forma que a quantidade x_{it} de produtos i , adquiridos

no período t e somados à quantidade S_{it-1} de estoque do produto i no período anterior ($t-1$), tem que ser equivalente à demanda D_{it} do mesmo produto i no período em questão somada ao estoque S_{it} desse produto i nesse período t ; a restrição (17) foi implementada com o propósito de não permitir que o estoque fique zerado, a fim de ter um estoque de segurança, assim, o gerente da empresa estipulou um estoque dessa natureza que equivalente, aproximadamente, à 15% da quantidade de demanda prevista. Por conta disso, os valores escolhidos para determinar o estoque de segurança foram obtidos em função da demanda.

4. Resultados

A empresa (trata-se de uma loja que revende produtos eletrônicos) trabalha com uma grande variedade de produtos, assim, foi escolhida uma amostra, por meio da técnica de amostragem probabilística do tipo aleatória simples (LAKATOS, MARCONI, 2003, p.224) formada por cinco produtos. Houve então a coleta dos dados para formulação dos parâmetros e das variáveis utilizadas. O *custo de estoque* precisou ser calculado, para isso recorreu-se à equação (6). Ademais, os parâmetros dessa equação foram substituídos pelos dados coletados na empresa, com exceção da taxa de armazenamento (I), que foi calculada por meio da equação (7).

O modelo matemático considera os seguintes produtos: computador, impressora, pendrive, celular e cartão de memória. Foi previsto uma demanda mensal dos produtos num período de seis meses, desse modo, a solução desenvolvida teve sua aplicação iniciada no mês de dezembro de 2014 e terminada em maio de 2015. A loja de artigos eletrônicos compra uma quantidade de itens e os revende e os custos unitários desses produtos foram tratados como sendo os preços de aquisição, os quais podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Custo unitário de compra

Produtos	Computador	Impressora	Celular	Pendrive	Cartão de Memória
Custo unitário de compra (R\$)	683,00	113,00	67,55	11,90	14,90

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os custos apresentados na Tabela 2 são referentes à estocagem. Eles foram calculados por intermédio da equação (7) e variam conforme o tipo de produto. Vale informar que os dados utilizados para tal cálculo não foram apresentados em respeito à solicitação do proprietário da empresa:

Tabela 2 – Custo unitário de estoque

Produtos	Computador	Impressora	Celular	Pendrive	Cartão de Memória
Custo unitário de estoque (R\$)	29,25	4,28	2,77	0,31	0,29

Fonte: Elaborada pelos autores.

A demanda dos produtos ao longo do período (dezembro de 2014 até maio de 2015) foi estipulada pela própria empresa. Assim sendo, o número de produtos solicitados são demonstrados na Tabela 3, enquanto que o estoque inicial dos cinco tipos de produtos está disposto na Tabela 4.

Tabela 3 – Demanda dos produtos

	Mês	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.
Produto (Unidade)	Computador	17	15	15	13	18	17
	Impressora	21	20	18	20	23	18
	Celular	38	40	36	28	39	33
	Pendrive	238	220	210	170	260	265
	Cartão	211	198	181	120	215	180

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 4 – Estoque inicial

Produto	Compu- tador	Impressora	Celular	Pendrive	Cartão de memória
Estoque inicial (Unidade)	23	41	350	838	757

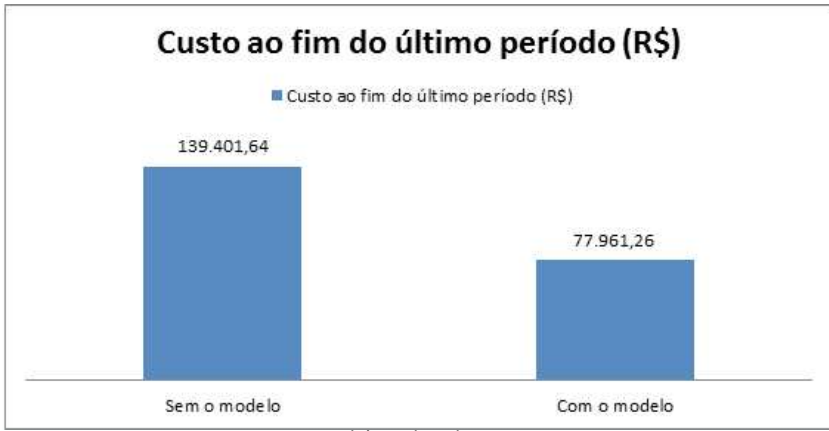
Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao implementar a solução apresentada pelo modelo matemático a empresa reduziria 44% dos seus custos, o que equivale a R\$ 61.440,38, pois no período analisado, a empresa teve um custo de R\$ 139.401,64. Se as decisões de compra e armazenagem fossem baseadas na proposta do modelo, esse custo passaria para R\$ 77.961,38. Com o valor economizado, a empresa poderia investir na ampliação do negócio e, assim, atingir uma maior fatia de mercado. A Figura 1 apresenta a comparação dos valores obtidos pela utilização ou não do modelo para tomar decisões.

No início do estudo, a empresa trabalhava com alto volume de estoque para ter a garantia de ter o produto disponível na prateleira para o cliente, porém isso acarreta um aumento substancial nos custos da empresa. A quantidade de estoque ao longo do período era constante, à medida que se vendia as mercadorias, fazia-se a compra da mesma quantidade vendida, ou seja, efetuava-se apenas uma reposição de estoque. O modelo matemático elaborado faz uma análise da relação entre estoque, demanda, preços e custos, permi-

tindo um planejamento adequado para a empresa. Dessa forma, mesmo que se reduza a quantidade de estoques, a demanda será atendida no prazo.

Gráfico 1 - Comparação entre o custo total no período abordado pelo trabalho



Fonte: Elaborado pelos autores.

6. Conclusão

Este trabalho avaliou o uso da programação linear para apoio à gestão de estoques de uma loja de artigos eletrônicos. A empresa analisada tem a necessidade de reduzir os custos de estoque de cada produto para manter-se competitiva no ambiente onde está inserida, assim, para superar seus concorrentes, é preciso reduzir os custos de estoque e, ao mesmo tempo, atender o cliente no momento do pedido, visto que a empresa não pode perder vendas por falta de produtos.

A organização, embora conte com algum tipo de controle, não possui planejamento, resultando em custos excessivos de estocagem. Nesse sentido foi usada a técnica de programação linear junto a uma pesquisa de demanda de mercado com duração de seis meses, referentes ao período de desenvolvimento deste trabalho.

É notória a relevância do uso de modelos matemáticos como ferramentas de auxílio à tomada de decisões, haja vista que sua implementação na empresa estudada possibilitaria uma redução de aproximadamente 44% nos custos de estocagem. O uso da programação linear como uma ferramenta de apoio a decisão é fundamental para a empresa determinar os níveis de estoque para cada produto. A solução do modelo aponta a quantidade ótima de produtos a serem adquiridos e estocados, sem deixar de atender a demanda dos clientes, melhorando, assim, sua lucratividade a partir da redução do custo de estocagem excessiva.

Referências

ABINEE, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica.

Desempenho setorial. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon15.html>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa Operacional:** para cursos de engenharia. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier. 2007.

CARLOMAGNO, Fernando Santos. **Uma abordagem de custos na formação de estoques.** 2006.

CORRÊA, H.L.; GIANESI, I.G.; CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção - MRPII/ERP - 3ª ed.,** São Paulo: Atlas, 2000.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003. 311 p.

LIMA, M. P. **Custos Logísticos na Economia Brasileira.**

Revista Tecnológica. São Paulo, SP, 2006. Disponível em: <<http://www.rslima.unifei.edu.br/download1/pqe02/CustosLogisticosTecnologica.pdf>>, acesso em 07/12/2014.

MAKHORIN, Andrew *et al.* **GLPK (GNU linear programming kit)**. 2008.

MIGUEL, P. A. C. **Estudo de caso na engenharia de produção: Estruturação e recomendações para sua condução**. Produção. v.17. n.1. p. 216-229. São Paulo:[s.n]. jan/abr 2007.

MORAES, Marcelo C. M. M. *et al.* Nova perspectiva de custo de produção na agropecuária: proposta de avaliação para sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). **Congresso Brasileiro de Custos**, Natal, RN, nov. 2014.

MOREIRA, D. A., **Administração da Produção e Operações**. São Paulo, SP: Thomson, 2006.

MOREIRA, D. A., **Pesquisa Operacional: Curso introdutório**. 2 ed. São Paulo, SP: Cengage Learning. 2013.

SCHWITZKY, M. **Acuracidade dos métodos de previsão e a sua relação com o dimensionamento dos estoques acabados**. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia, Florianópolis. 2001.

SILVA, Medeiros da Silva *et al.* **Pesquisa Operacional: Programação linear e Simulação**. 3. Ed. São Paulo: ATLAS S.A, 1998. 184 p.

TADEU, H. F. B. **Gestão de estoques: Fundamentos, modelos matemáticos e melhores práticas aplicadas**. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2010.

VENTURA, M. M. **O estudo de caso como modalidade de pesquisa**. Rev SOCERJ. 2007. Disponível em: <http://www.polo.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/o_estudo_de_caso_como_modalidade_de_pesquisa.pdf>. Acesso em 08 de set. de 2014.