



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01
de dezembro 2023

Minimização de custos de produção de uma microempresa familiar do ramo de artigos personalizados

Ana Cláudia da Silva Vidal

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – campus Quixadá

Luanne Pereira de Almeida

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – campus Quixadá

Timotio Furtado da Cruz

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – campus Quixadá

José Davi Pereira Matias

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – campus Quixadá

Caio Augusto Nunes Marques

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – campus Quixadá

Resumo: Este trabalho compreende a aplicação da pesquisa operacional (PO) na resolução de um problema de planejamento e controle da produção em uma pequena empresa familiar do ramo de artigos personalizados, localizada no município de Senador Pompeu, Sertão Central do Ceará. O objetivo do trabalho foi a minimização de custos de produção da empresa, buscando a determinação da quantidade ótima de cada matéria-prima necessária a ser comprada e estocada em cada mês ao longo de quatro meses, conforme a demanda de cada produto a ser manufaturado. Esta pesquisa seguiu as fases de um estudo de pesquisa operacional, iniciado pela coleta de dados através de investigações junto à proprietária do estabelecimento. Logo após, prosseguiu-se para a modelagem matemática do problema, definição de sua solução ótima e análise de sensibilidade, com o auxílio do software LINDO 6.1. Por fim, os resultados foram validados com a proprietária e como solução, conseguiu-se determinar um custo mínimo de aquisição que resulta em uma receita mínima de R\$ 1.329,00 para atender à demanda de quatro tipos de produtos que a empresa oferece, em um período de quatro meses, resultando em uma diminuição na compra excessiva de matéria-prima.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, Programação Linear, Planejamento e Controle da Produção.

Minimization of production costs of a family micro enterprise in the field of personalized articles

Abstract: This work comprises the application of operational research (PO) in solving a problem of planning and control of production in a small family business in the field of personalized articles, located in the municipality of Senador Pompeu, Sertão Central do Ceará. The objective of the work was the minimization of production costs of the company, seeking to determine the optimal amount of each raw material needed to be purchased and stored each month over four months, according to the demand of each product to be manufactured. This research followed the phases of an

operational research study, initiated by data collection through investigations with the owner of the establishment. Soon after, we proceeded to the mathematical modeling of the problem, definition of its optimal solution and sensitivity analysis, with the help of LINDO 6.1 software. Finally, the results were validated with the owner. As a solution, it was possible to determine a minimum acquisition cost that results in a minimum revenue of R\$ 1,329.00 to meet the demand for four types of products that the company offers, in a period of four months, resulting in a decrease in the excessive purchase of material-cousin.

Keywords: Operational Research, Linear Programming, Production Planning and Control.

1. Introdução

Através de uma pesquisa realizada em 2017 pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), foi identificado que cerca de 24% dos proprietários de pequenos negócios no país que foram entrevistados possuíam ao menos um parente como sócio, e cerca de 22% possuíam algum familiar empregado (SEBRAE, 2020). Na maioria das vezes, esses pequenos empreendimentos surgem com pouco ou quase nenhum conhecimento técnico em gestão por parte dos proprietários que, por sua vez, tendem a fazer uso de uma administração mais intuitiva, sendo guiados pelo caminho mais atrativo (LIMA; IMÔNIANA, 2008).

Para que uma organização conserve sua rentabilidade diante da alta competitividade no mercado brasileiro, se faz necessário que haja um controle e planejamento adequado de produção, além de boas estratégias (CASSEL; ANTUNES JUNIOR; OENNIG, 2006). Segundo Tubino (2017), um planejamento eficiente é imprescindível para que as organizações consigam aumentar sua produtividade fazendo uso de recursos limitados, bem como adotar boas práticas de trabalho. Para que se alcance a lucratividade máxima, é preciso que a administração seja feita partindo da razão de maximização de lucros, devido à instabilidade do mercado (CASSEL; ANTUNES JUNIOR; OENNIG, 2006). Mediante essa ideia, existem inúmeros modelos capazes de ajudar na implantação de estratégias gerenciais, com o dever de ajudar os gestores a aperfeiçoarem seus resultados (CASSEL; ANTUNES JUNIOR; OENNIG, 2006).

Os modelos matemáticos de otimização têm uma grande importância no processo de efetuar uma decisão estratégica no negócio, permitindo que os gestores tenham um melhor controle e planejamento. Perante as diversas áreas que fazem o uso de modelos matemáticos, a pesquisa operacional (PO) é uma abordagem científica para a solução de problemas na gestão de sistemas complexos que possibilita aos gestores uma melhor tomada de decisões (THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY, 2021).

Este trabalho teve como objetivo principal minimizar os custos de aquisição de matéria-prima de uma pequena empresa familiar no ramo de artigos personalizados, localizada no município de Senador Pompeu, Ceará. Através do método Simplex, com utilização do software LINDO 6.1, buscou-se encontrar uma solução ótima para o problema em questão, por meio da programação linear. Na sequência, a solução foi apresentada e discutida pela equipe junto à proprietária da empresa, a fim de determinar se a sua aplicação na vida real seria ou não viável com base em sua experiência profissional. Este artigo está dividido em cinco seções, sendo a primeira uma contextualização da temática abordada, seguido pela revisão bibliográfica dividida em quatro tópicos principais, a abordagem da metodologia empregada, os resultados obtidos divididos em três tópicos e, por fim, uma conclusão.

2. Referencial Teórico

2.1 Pesquisa Operacional e Programação Linear

A Pesquisa Operacional (PO) teve suas primeiras práticas sociais realizadas durante o período da Segunda Grande Guerra, na Inglaterra, assim que alguns pesquisadores resolveram dispor de abordagens científicas que os ajudassem no processo de tomada de decisões sobre o melhor aproveitamento dos materiais de guerra (TAHA, 2008). Posteriormente, o êxito da utilização da PO durante o período de guerra incentivou a adoção dessas práticas em outros setores (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

A PO implica em um estudo acerca de operações, como o próprio nome sugere, e é empregada principalmente com a finalidade de solucionar problemas relacionados à orientação e controle de atividades em uma organização (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). As ferramentas básicas utilizadas pela Pesquisa Operacional são provenientes de conhecimentos estatísticos, matemáticos e de tecnologia (TAHA, 2008). Por estar relacionada a esses princípios, ultimamente a pesquisa operacional tem sido chamada de ciência e tecnologia da decisão (ARENALES *et al.*, 2015).

Segundo Taha (2008), a programação linear (PL), dentre todas as técnicas disponíveis, é a mais utilizada. A PL é uma técnica baseada em equações lineares que determina a melhor utilização possível de recursos limitados, entre muitas tarefas ou atividades, para atingir o valor ideal da meta desejada, muitas vezes referindo-se à maximização do lucro ou à redução de custos (ANDRADE, 2015). Através da programação linear podem ser solucionados muitos problemas de otimização que se submetam a algumas restrições (BARBOSA; ZANARDINI, 2015).

2.2 Modelagem

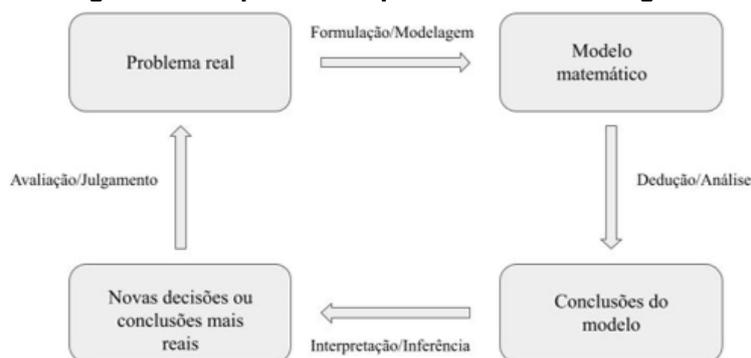
A modelagem matemática pode ser definida como um conjunto de etapas utilizadas com a intenção de representar matematicamente uma situação real, através de todos os dados que são levantados na etapa de definição do problema, buscando encontrar a melhor solução possível (LONGARAY, 2013). Geralmente, para que um modelo matemático possa ser apresentado, é necessário que algumas reduções sejam levadas em consideração, tendo em vista que o modelo matemático é apenas uma abstração do contexto real (ARENALES *et al.*, 2015).

De acordo com Hillier e Lieberman (2013), os elementos básicos de um modelo matemático são:

- Variáveis de decisão: correspondem às n decisões estimáveis a serem executadas ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$), dos quais os referentes valores devem ser definidos;
- Função objetivo: é a representação da medida de desempenho apropriada juntamente com as variáveis de decisão definidas;
- Restrições: podem ser atribuídas às variáveis de decisões e devem ser expressas de forma matemática, normalmente através de desigualdades;
- Parâmetros: são todas as constantes utilizadas nas restrições e função objetivo.

Arenales *et al.* (2015) apresentam na Figura 2 quatro etapas para ilustrar o processo de modelagem matemática, utilizado em problemas de pesquisa operacional.

Figura 1 – Etapas de um processo de modelagem



Fonte: Adaptado de Arenales et al. (2015)

As etapas previstas na Figura 1 são apresentadas na sequência, conforme descrito por Arenales *et al.* (2015):

- **Formulação/Modelagem:** são definidas as variáveis e as relações matemáticas para descrever o comportamento relevante do sistema ou problema real;
- **Dedução/Análise:** aplica técnicas matemáticas e tecnologia para resolver o modelo matemático e visualizar quais conclusões ele sugere;
- **Interpretação/Inferência:** avalia se as conclusões retiradas do modelo têm significado suficiente para inferir conclusões ou decisões para o problema real;
- **Avaliação/Julgamento:** frequentemente, uma avaliação dessas conclusões ou decisões inferidas mostra que elas não são adequadas e que a definição do problema e sua modelagem matemática precisam de revisão e, então, o ciclo é repetido.

2.3 Método Simplex

O método Simplex foi desenvolvido em meados de 1947 por George Dantzig e destacou-se por ser bastante ágil e eficaz na resolução de problemas extensos de programação linear, sendo uma maneira padrão comumente implementada através de computadores e pacotes de softwares (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). De maneira resumida, esse método consiste na procura por uma ou mais soluções ótimas com base em uma solução comum que seja viável (BARBOSA; ZANARDINI, 2015).

Primeiramente, é necessária uma solução básica viável inicial (um dos limites/pontos extremos do conjunto de resultados satisfatórios do modelo de PL), para que o método simplex verifique se, esta é ou não a solução ótima (CRUZ *et al.*, 2016). Caso não seja, isso significa que um dos demais pontos extremos vizinhos gera um valor inferior para a função objetivo (caso o problema em questão seja considerado de minimização), então é necessário fazer uma alteração de vértice na direção que mais minimiza a função objetivo, verificando se este novo vértice é ótimo (CRUZ *et al.*, 2016). São elaboradas uma série de soluções viáveis e, por fim, é obtida a solução ótima (BARBOSA; ZANARDINI, 2015).

2.4 Análise de sensibilidade

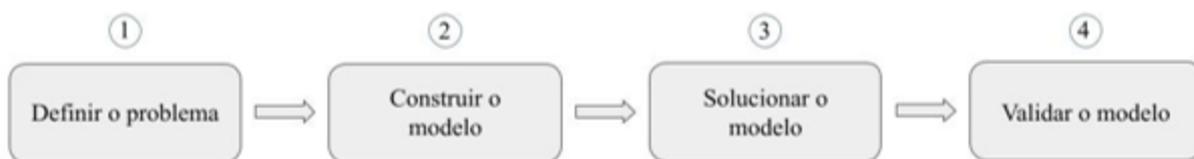
Na programação linear, os parâmetros do modelo considerados determinísticos, contudo na prática eles podem sofrer variações entre determinados limites, gerando ou não alterações na solução ótima (TAHA, 2008). Em geral, existem dois tipos de parâmetros: os que podem assumir qualquer valor que não irão afetar a solução ótima, e outros que ao assumirem determinados valores acabam, sim, afetando a otimalidade da solução, são os chamados parâmetros sensíveis (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

A análise de sensibilidade, por sua vez, busca identificar quais são esses parâmetros sensíveis e os não sensíveis, estipulando um intervalo com os valores que eles podem assumir sem causar alterações na solução ótima e na viabilidade do problema (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). De acordo com Lachtermacher (2018) a análise de sensibilidade necessita identificar quais são os impactos que uma alteração nos coeficientes e constantes da função objetivo e/ou restrições pode causar.

3. Metodologia

Inicialmente foram realizados alguns estudos acerca de empresas familiares e pequenos negócios no Brasil, para que fosse possível compreender sua origem, características importantes e desafios. O problema identificado, no qual buscou-se encontrar uma solução ótima, foi estruturado seguindo quatro das cinco fases de um estudo de Pesquisa Operacional (Figura 2) consideradas por Taha (2008):

Figura 2 – Fases de um estudo de Pesquisa Operacional



Fonte: Adaptado de Taha (2008)

Além das quatro fases de estudo citadas anteriormente, há ainda uma última: implementação da solução (TAHA, 2008). No desenvolvimento do estudo em questão, só foram realizadas as quatro primeiras etapas, estando fora do escopo deste trabalho a implantação da solução encontrada no processo produtivo da empresa. Na sequência são descritas cada uma das fases.

- a) Definir o problema (fase 1): após definida a empresa em que esse trabalho seria realizado, houve um estudo inicial junto à proprietária para compreender melhor o cenário real no qual o empreendimento em questão está inserido. Nesta fase, determinou-se o problema a ser solucionado, caracterizando os elementos essenciais em um problema de decisão (variáveis de decisão, função objetivo e restrições);
- b) Construir o modelo (fase 2): nessa fase iniciou-se o processo de modelagem, em que os elementos determinados na definição do problema foram substituídos por relações matemáticas a fim de observar se o modelo consegue se ajustar ou não a algum método matemático padrão, fazendo com que seja possível alcançar a sua solução;
- c) Solucionar o modelo (fase 3): implica na utilização de algum algoritmo de otimização, neste caso, o software LINDO 6.1, a fim de encontrar a solução ótima do problema e realizar uma análise de sensibilidade;
- d) Validar o modelo (fase 4): esta última fase corresponde a uma análise, para saber se o modelo é útil e faz sentido, bem como os seus resultados. Nessa etapa é crucial identificar se ele presume corretamente a conduta do sistema em questão, podendo compará-lo com dados históricos disponíveis para que se torne mais fácil. Os resultados obtidos no trabalho foram apresentados à proprietária do estabelecimento.

4. Resultados e discussão

4.1 A empresa e seu problema

A empresa “Pegue & Monte da Val” localizada no município de Senador Pompeu (CE), oferece aos seus clientes uma variedade de artigos personalizados em diversos tipos de papéis, sendo o papel offset o mais utilizado para a produção dos itens. Como se trata de artigos personalizados feitos mediante o desejo de cada cliente, a produção da empresa é classificada como produção puxada, ou seja, o processo produtivo só é iniciado após a identificação da demanda de cada item. Segundo Barco e Villela (2008), o sistema de produção puxada admite que determinado item seja fabricado somente no período no qual seja indispensável e apenas na quantidade necessária.

O período escolhido para análise nesse estudo corresponde aos meses de julho, agosto, setembro e outubro de 2021 que, geralmente, são os de maior demanda na loja. Os dados utilizados foram recolhidos pela equipe junto à proprietária do estabelecimento. As tabelas a seguir contêm os dados da demanda dos produtos em cada um dos meses (Tabela 1) e os materiais necessários para a produção de cada item (Tabela 2).

Tabela 1 – Demanda dos produtos em cada mês

Produto	Demanda				Total
	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	
Caixa explosão	4	5	4	7	20
Caixa mini confeitiro	0	0	0	10	10
Balde de balinhas	5	7	3	5	20
Kit festa	2	3	9	11	25
Total	11	15	16	33	75

Fonte: Autores (2023)

Os dados de demanda da caixa mini confeitiro apresentaram-se nulos, com exceção do último mês (outubro). Isso se dá pelo fato deste produto ser exclusivamente infantil e só possuir uma maior busca no mês de outubro, em que é comemorado anualmente o Dia das Crianças.

Tabela 2 – Materiais necessários para a confecção de cada item

ID	Material	Caixa explosão	Mini confeitiro	Balde de balinhas	Kit p/ aniversário
1	Papel <i>offset</i>	11	5	-	10
2	Cola de silicone	1	1	-	1
3	Bisnaga	-	1	-	-
4	Tubete	-	1	-	-
5	Papel sulfite	-	-	10	-
6	Cola bastão	-	-	1	-
7	Balde de plástico	-	-	1	-
8	Saco de balas	-	-	1	-
9	Canudos	-	-	-	5

Fonte: Autores (2023)

Após a identificação da quantidade necessária de material para a fabricação de cada um dos itens, houve um levantamento sobre o custo de cada matéria-prima em alguns estabelecimentos da cidade de Senador Pompeu, onde a loja Pegue & Monte da Val é

instalada. Como em boa parte dos estabelecimentos pesquisados o preço dos itens não variava muito, foi calculada sua média dos valores conforme apresentado na Tabela 3:

Tabela 3 – Custo dos componentes

Material	Preço (unidade)
Papel <i>offset</i>	R\$ 0,30
Papel sulfite	R\$ 0,10
Canudos	R\$ 1,00
Balde de plástico	R\$ 3,50
Cola bastão	R\$ 3,50
Cola de silicone	R\$ 7,50
Pacote de balinhas	R\$ 6,50
Bisnaga de plástico	R\$ 2,00
Tubete	R\$ 1,10

Fonte: Autores (2023)

Por fim, foram coletadas as informações a respeito do estoque mínimo e máximo dos materiais necessários para a produção de cada item. Como quase todos os materiais utilizados não têm um prazo de validade curto, existe uma boa capacidade de armazenamento.

Tabela 4 – Quantidade mínima e máxima de estoque de cada item

Material	Mínimo	Máximo
Papel Offset	500	2000
Papel Sulfite	500	2000
Canudos	20	50
Balde de plástico	10	15
Cola Bastão	2	5
Cola de Silicone	2	5
Pacote de balinhas	1	3
Bisnaga de plástico	10	20
Tubete	10	20

Fonte: Autores (2023)

4.2 Modelo matemático

Ao iniciar o modelo matemático, foram identificadas e nomeadas as variáveis de decisão que correspondem à quantidade de material comprado e à quantidade de material estocado em cada mês. É importante lembrar que o problema em questão trabalha com um período de quatro meses e nove tipos materiais diferentes, portanto, as variáveis de decisão determinadas variam nesse intervalo. Os índices “i” e “j” correspondem, respectivamente, a “material” e “mês”. Logo, o índice “i” pode assumir valores de 1 a 9 (conforme a coluna “ID” da Tabela 2), enquanto o índice “j” poderá assumir valores de 1 a 4, sendo que o mês 1 corresponde a julho, o 2 a agosto, o 3 a setembro e o mês 4 equivale a outubro. Assim, a variável x_{11} corresponde à quantidade de papel offset ($i = 1$) a ser comprado em julho ($j = 1$).

Variáveis de decisão:

x_{ij} : quantidade de material i a ser comprado no mês j , $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ e $j = 1, 2, 3$ e 4

y_{ij} : quantidade de material i a ser estocado no mês j , $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ e $j = 1, 2, 3$ e 4

Em seguida foi definida a função objetivo, que como meta minimizar o custo de aquisição dos materiais. A função objetivo a seguir (Equação 1), foi elaborada através da multiplicação do preço unitário de venda de cada um dos materiais necessários para a fabricação dos produtos da loja, pela quantidade desse mesmo material a ser comprada em cada um dos meses.

Por se tratar de materiais pequenos e com uma validade muito extensa, os custos de estoque deles (materiais) para a empresa, são mínimos. Desta forma, os dados relacionados a custo de estoque foram descartados na elaboração da função objetivo.

Função objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & 0,3x_{11} + 0,1x_{21} + 1,0x_{31} + 3,5x_{41} + 3,5x_{51} + 7,5x_{61} + 6,5x_{71} + 2,0x_{81} + 1,1x_{91} \\ & + 0,3x_{12} + 0,1x_{22} + 1,0x_{32} + 3,5x_{42} + 3,5x_{52} + 7,5x_{62} + 6,5x_{72} + 2,0x_{82} + 1,1x_{92} \quad (1) \\ & + 0,3x_{13} + 0,1x_{23} + 1,0x_{33} + 3,5x_{43} + 3,5x_{53} + 7,5x_{63} + 6,5x_{73} + 2,0x_{83} + 1,1x_{93} \\ & + 0,3x_{14} + 0,1x_{24} + 1,0x_{34} + 3,5x_{44} + 3,5x_{54} + 7,5x_{64} + 6,5x_{74} + 2,0x_{84} + 1,1x_{94} \end{aligned}$$

Logo após a função objetivo, definiram-se as restrições. A fim de que o modelo matemático fosse fiel à realidade da empresa, foram impostos dois tipos de restrições: restrições de demanda e restrições de estoque (máximo e mínimo).

Em relação às restrições de demanda, foram elencadas duas restrições. A Equação (2) representa a demanda de matéria-prima a ser utilizada no primeiro mês do planejamento, desconsiderando a variável de estoque no mês anterior (igual a zero) e considerando apenas os itens comprados subtraído dos itens mantidos em estoque no mês atual (um). Já a Equação (3), semelhante a equação anterior, trabalha com o estoque que foi mantido precedentemente somado com a compra do mês atual menos o estoque dele.

Sujeito a:

Restrições de demanda:

$$x_{ij} - y_{ij} = d_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, 9; j = 1 \quad (2)$$

$$y_{ij-1} - x_{ij} - y_{ij} = d_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, 9; j = 2, 3, 4 \quad (3)$$

Partindo para as restrições de estoque, foram utilizados os dados obtidos na Tabela 4 que determina as quantidades máxima e mínima de cada um dos itens a serem mantidos em estoque, relacionados com o mês em questão, a fim de identificar uma boa quantidade que seja capaz de suprir a demanda do período analisado.

Restrições de estoque (máximo e mínimo):

Estoque máximo de papel offset no mês 1 até mês 4:

$$y_{1j} \leq 2000, \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

Estoque máximo de papel sulfite no mês 1 até mês 4:

$$y_{2j} \leq 2000, \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

Estoque máximo de canudos no mês 1 até mês 4:

$$y_{3j} \leq 50, \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

Estoque máximo de balde de plástico no mês 1 até mês 4:

$$y_{4j} \leq 15, \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (7)$$

Estoque máximo de cola bastão no mês 1 até mês 4:

$$y_{5j} \leq 5, j = 1, 2, 3, 4 \quad (8)$$

Estoque máximo de cola de silicone no mês 1 até mês 4:

$$y_{6j} \leq 5, j = 1, 2, 3, 4 \quad (9)$$

Estoque máximo de pacote de balas no mês 1 até mês 4:

$$y_{7j} \leq 3, j = 1, 2, 3, 4 \quad (10)$$

Estoque máximo de bisnaga de plástico no mês 1 até mês 4:

$$y_{8j} \leq 20, j = 1, 2, 3, 4 \quad (11)$$

Estoque máximo de tubete no mês 1 até mês 4:

$$y_{9j} \leq 20, j = 1, 2, 3, 4 \quad (12)$$

Estoque mínimo de papel offset no mês 1 até mês 4:

$$y_{1j} \geq 500, j = 1, 2, 3, 4 \quad (13)$$

Estoque mínimo de papel sulfite no mês 1 até mês 4:

$$y_{2j} \geq 500, j = 1, 2, 3, 4 \quad (14)$$

Estoque mínimo de canudos no mês 1 até mês 4:

$$y_{3j} \geq 20, j = 1, 2, 3, 4 \quad (15)$$

Estoque mínimo de balde de plástico no mês 1 até mês 4:

$$y_{4j} \geq 10, j = 1, 2, 3, 4 \quad (16)$$

Estoque mínimo de cola bastão no mês 1 até mês 4:

$$y_{5j} \geq 2, j = 1, 2, 3, 4 \quad (17)$$

Estoque mínimo de cola de silicone no mês 1 até mês 4:

$$y_{6j} \geq 2, j = 1, 2, 3, 4 \quad (18)$$

Estoque mínimo de pacote de balas no mês 1 até mês 4:

$$y_{7j} \geq 1, j = 1, 2, 3, 4 \quad (19)$$

Estoque mínimo de bisnaga de plástico no mês 1 até mês 4:

$$y_{8j} \geq 10, j = 1, 2, 3, 4 \quad (20)$$

Estoque mínimo de tubete no mês 1 até mês 4:

$$y_{9j} \geq 10, j = 1, 2, 3, 4 \quad (21)$$

Não-negatividade das variáveis de decisão

$$x_{ij}, y_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, 9, j = 1, 2, 3, 4 \quad (22)$$

4.3 Solução e validação do modelo

A fim de solucionar o modelo matemático construído, ele foi submetido ao software LINDO 6.1, da LINDO SYSTEMS, com o objetivo de encontrar uma solução ótima para que, por meio dela, fosse verificado se há ou não a possibilidade de validação do modelo. Após realizadas 42 iterações obteve-se como solução ótima, o valor da função objetivo de R\$ 1.329,00. Isso significa, que este é o custo mínimo, para adquirir os materiais necessários à montagem de todos os produtos encomendados no período estudado de quatro meses. A Tabela 5 apresenta os valores ótimos obtidos para as quantidades a serem compradas e

estocadas de cada material em cada mês durante o horizonte de planejamento de quatro meses.

Tabela 5 – Quantidade ótima de itens a serem comprados e estocados em cada mês

Variável de demanda	Quantidade do item i a ser comprado no mês j (x_{ij})	Variável de estoque	Quantidade do item i a ser mantido em estoque no mês j (y_{ij})
x_{11}	783	y_{11}	719
x_{21}	650	y_{21}	600
x_{31}	45	y_{31}	35
x_{41}	20	y_{41}	15
x_{51}	7	y_{51}	2
x_{61}	8	y_{61}	2
x_{71}	6	y_{71}	1
x_{81}	10	y_{81}	10
x_{91}	10	y_{91}	10
x_{12}	0	y_{12}	634
x_{22}	0	y_{22}	530
x_{32}	0	y_{32}	20
x_{42}	5	y_{42}	13
x_{52}	7	y_{52}	2
x_{62}	8	y_{62}	2
x_{72}	7	y_{72}	1
x_{82}	0	y_{82}	10
x_{92}	0	y_{92}	10
x_{13}	0	y_{13}	500
x_{23}	0	y_{23}	500
x_{33}	45	y_{33}	20
x_{43}	0	y_{43}	10

Fonte: Autores (2023)

Os resultados da Tabela 5 apontam que, por exemplo, devem ser adquiridas 650 unidades de papel sulfite no mês de julho (x_{21}) e que, ao final deste mesmo mês, 600 unidades do referido material devem ser mantidas em estoque (y_{21}). A mesma tabela aponta que cinco unidades de pacotes de balas devem ser adquiridas no mês de outubro (x_{74}) e que, ao final do mês, deve restar um estoque de uma unidade deste produto (y_{74}) que é justamente o estoque mínimo estabelecido para este material de acordo com a restrição expressa na inequação (4).

Os resultados obtidos após a solução do modelo no LINDO 6.1 foram organizados na forma de tabelas para que a sua exibição à proprietária da empresa fosse de fácil compreensão, a fim de que ela pudesse julgar, com base na sua experiência profissional, se o modelo e os valores encontrados fazem sentido prático ou não. Após essa exibição, houve uma concordância da proprietária com os valores, tendo em vista que o custo mínimo de produção se deu em cima dos quatro meses escolhidos, além de considerar as restrições de estoque de cada um dos itens a serem comprados. De acordo com a sua experiência, a proprietária do estabelecimento disse que todos os resultados apresentados estavam, ao seu ver, de acordo com a realidade.

5. Conclusões

O presente trabalho possibilitou determinar, por meio da programação linear, a quantidade ótima de itens a serem comprados a cada mês para a produção dos quatro artigos personalizados escolhidos para serem analisados nesse estudo. Essa quantidade ótima foi determinada através do software LINDO 6.1, da LINDO SYSTEMS, em que o modelo

matemático criado foi aplicado. A aplicação dos resultados obtidos possibilitaria a minimização dos custos da empresa, ao determinar as quantidades a serem compradas e estocadas de cada material em cada um dos meses. Isso viabilizaria um planejamento mais racional na aquisição e armazenagem dos materiais, evitando um compromisso financeiro excessivo na aquisição e estocagem na microempresa.

Conforme as etapas de um estudo de Pesquisa Operacional apontadas por Taha (2008), realizando as iterações obteve-se como solução ótima o valor objetivo de R\$ 1.329,00. Dependendo da quantidade comprada de cada item e estocada no primeiro mês, é necessário reabastecer o estoque a cada mês ou a cada dois meses.

De acordo com as análises e com os resultados obtidos, considera-se que os objetivos da pesquisa de minimizar os custos de produção dessa empresa através de um melhor planejamento da produção, foram alcançados. Desta maneira, conclui-se que a aplicação desse estudo no presente estabelecimento seja considerada eficiente e produtiva.

Para trabalhos futuros, considera-se interessante a aplicação das ferramentas de pesquisa operacional voltadas para a minimização dos custos de produção, porém, utilizando uma demanda semanal, além de trabalhar com todos os produtos disponíveis na empresa. Isso permitiria superar a principal limitação desta pesquisa, sendo possível preparar um modelo matemático que contemple todo o mix de produtos da microempresa.

Referências

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional**: métodos e modelos para análise de decisões. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, YANASSE, H. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

BARBOSA, M. A. ZANARDINI, R. A. D. **Iniciação a pesquisa operacional no ambiente de gestão**. 3 ed. Curitiba: InterSaber, 2015.

BARCO, C. F.; VILLELA, F. B. Análise dos sistemas de programação e controle da produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio De Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ENEGEP, 2008. p. 1-7.

CASSEL, R. A.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V.; OENNIG, V. Maximização da lucratividade em produção conjunta: um caso na indústria frigorífica. **Produção**, v. 16, n. 2, p. 244-257, 2006.

CRUZ, A. J.; SILVA, F. A.; MARACCI, F. V.; POZOTI, M. A. O uso da Inteligência coletiva e o método simplex na busca de minimizar custos utilizando dispositivos móveis. **Colloquium Exactarum**. v. 6, n. 2, p. 140–156, 2014.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Cinco dicas para administrar uma empresa familiar**. Sebrae, 2020. Disponível em: <https://www.agenciasebrae.com.br/sites/asn/uf/NA/cinco-dicas-para-administrar-uma->

[empresa-familiar,89a4e7de2548f610VgnVCM1000004c00210aRCRD](https://empresafamiliar.com.br/empresa-familiar,89a4e7de2548f610VgnVCM1000004c00210aRCRD)>. Acesso em: 8 fev. 2022.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. **Introdução à pesquisa operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 5. ed. LTC, 2018.

LIMA, A. N.; IMONIANA, J. O. Um estudo sobre a importância do uso das ferramentas de controle gerencial nas micro, pequenas e médias empresas industriais no município de São Caetano do Sul. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, v. 2, n. 3, p.28-48, 2008.

LONGARAY, A. A. **Introdução à pesquisa operacional**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2013

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional: uma visão geral**. 8ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

The Operational Research Society. **What is Operational Research?** The OR Society, 2021. Disponível em: <<https://www.theorsociety.com/about-or/>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2017.