



# APLICAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL NA REDUÇÃO DE CUSTOS COM MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE UM OPERADOR LOGÍSTICO: CRIAÇÃO DE UM PLANO DE COMPRAS OTIMIZADO

**Dhiordan Cunha Tadaiesky (UEPA)**  
dhordancunha@gmail.com

**Joaquim Lima das Neves Neto (UEPA)**  
joaquimnevesneto@gmail.com

**Osman Luiz de Melo e Silva (UEPA)**  
osmanluiz2000@gmail.com

**Rafaela Monteiro Ramos (UEPA)**  
rafaelamonteiro556@gmail.com

**Yvelyne Bianca Iunes Santos (UEPA)**  
yvelyne@uepa.com

*O presente estudo de caso foi realizado em uma empresa que distribui bebidas, localizada na cidade de Castanhal/PA. O objetivo do estudo foi realizar um plano de compra otimizado de itens para manutenção preventiva dos caminhões, utilizando-se Pesquisa Operacional. A modelagem matemática foi desenvolvida considerando-se, a verba mensal disponível, as estocagens dos produtos e as demandas mensais e, resolvida através da ferramenta Solver do Software Microsoft Excel. Os resultados apontaram que a implementação desse plano reduziria o custo mensal, com manutenção preventiva dos caminhões, em 11,4%. Foram também desenvolvidos no estudo diversos cenários que enfatizaram a importância da utilização do método para um melhor planejamento na manutenção preventiva da empresa.*

*Palavras-chave: Minimização de Custos, Planejamento Otimizado, Manutenção Preventiva, Pesquisa Operacional.*

## 1. Introdução

Nas empresas que trabalham com transporte de mercadorias é muito comum ocorrer falhas antes, durante e depois do serviço, principalmente no transporte rodoviário brasileiro, como desgaste dos pneus, o que causa atrasos nos processos de entrega, gastos com medidas de manutenção corretiva, de atendimento e até mesmo possíveis perdas de mercadorias e clientes.

Tudo isso causa bastantes adversidades para os gestores, que buscam trazer mais qualidade, eficácia e um lucro satisfatório para as empresas, que estão inseridos. Diante disso, é de extrema importância que esses profissionais saibam administrar os recursos responsáveis pelo serviço, a fim de minimizar possíveis falhas que possam ocorrer no percurso, visto que algumas são inevitáveis.

Dessa forma, saber investir em manutenção é fundamental para um bom desenvolvimento do trabalho e redução dos custos. Uma forma de prevenir as consequências das falhas é a manutenção preventiva, que é bastante importante, visto que pode evitar grandes entraves.

A Pesquisa Operacional é uma ferramenta que pode contribuir para que os gestores tomem melhores decisões e com menores custos, já que ela modela a realidade e permite a criação de cenários, aumentando a eficiência do serviço e a confiabilidade da decisão.

Portanto, este trabalho visa realizar um estudo de caso em uma empresa sediada no estado do Pará, que atua como operador logístico de uma fábrica multinacional de bebidas, com objetivo de utilizar ferramentas da Pesquisa Operacional para minimizar custos com manutenções preventivas da sua frota de caminhões, possibilitando à empresa fazer vários cenários para uma melhor gestão de compras, de estoque e financeira. Para obter os resultados do estudo, foi utilizado software computacional que solucionou o modelo matemático desenvolvido apresentando o custo mínimo de um plano de compra otimizado.

## 2. Pesquisa Operacional

Desde a eclosão da Revolução industrial, a população vivencia diversos modelos de organizações sociais e tentativas de estruturação de setor. Dentro desse contexto, segundo Hillier e Lieberman (2013), a Pesquisa Operacional se originou a partir das atividades de organização dos militares durante a segunda guerra mundial. Em razão das necessidades de suprimentos e mantimentos básicos escassos, foi necessária a alocação eficiente para as operações. Ao passar dos anos, a implantação da Pesquisa Operacional foi efetivada em indústrias, tendo como base modelos matemáticos e dinâmicas mais eficientes para as

organizações.

A Pesquisa Operacional é uma ciência que utiliza técnicas conhecidas ou desenvolvidas, de acordo com a criatividade e dinâmica de quem a implanta (MARINS, 2011). Assim, é possível sua utilização nas principais áreas socioeconômicas e tomadas de decisões, como por exemplo, indústrias e empresas comerciais de serviços, agências governamentais, coordenação de atividades em uma organização e decisões de contratações e investimentos econômicos. Para se obter resultados mais eficazes no setor de logística, por exemplo, é possível minimizar os gastos referentes às rotas de entregas de produto e custos de operação. Desse modo, o estudo de Pesquisa Operacional se relaciona a tomada de decisão que possa gerar a solução ótima ao problema, sendo trabalhado através das fases: construção de modelos matemáticos; obtenção da solução; teste do modelo; e sua implantação.

### **2.1. Modelagem matemática**

Segundo Virgillito (2017, p.23), “a modelagem é a maneira científica de se construir cenários ou mecanismos que ajudem a atingir resultados ou objetivos desejados”. Consiste em uma das etapas fundamentais da formação de um problema de Pesquisa Operacional, buscando uma retratação simplificada da realidade, guardando similaridades, em equações matemáticas que possibilitam a obtenção do resultado otimizado (ABENSUR, 2018). A execução de uma boa modelagem é essencial para a obtenção de um resultado confiável e vantajoso.

Hillier e Lieberman (2013) mostram que a modelagem é basicamente formada por duas partes: a função objetivo, que representa o que deve ser otimizado com os parâmetros que influenciam nele, junto com variáveis de decisão que serão determinadas pela solução, e as restrições, que mostram as limitações presentes no caso estudado, por meio de desigualdades ou equações. Essas equações podem ser de lineares e não-lineares.

### **2.2. Programação Linear**

Atualmente, um dos problemas mais enfrentados pelos gestores é o processo de tomada de decisão. Segundo Mintzberg (1973), a natureza do papel de gerenciar, faz com que os administradores dediquem grande parte do tempo ao processo decisório. Nos dias de hoje, no qual o tempo é um fator muito importante, é necessário se fazer uso de métodos que ajudem nesse processo decisório, um deles é a Programação Linear (PL), um dos métodos mais utilizados na Pesquisa Operacional.

A Programação Linear é um método científico de tomada de decisão que, segundo Rodrigues et al. (2014), consiste na representação das características de um problema em forma de um conjunto de equações lineares. Portanto, para que se possa fazer uso dela, Caixeta-Filho (2001), ressalta que a Programação Linear deve seguir 3 etapas básicas:

- a) Definição da função objetivo do problema, ou seja, o resultado que se deseja alcançar com a otimização, podendo ser de maximização ou minimização;
- b) Definição das variáveis de decisão, que representam as possíveis alternativas para a ocorrência da otimização;
- c) Definição das restrições do problema, ou seja, as limitações às quais as variáveis de decisão estão sujeitas.

### 2.3. Solver

O *Solver* é uma ferramenta que está inserida no *Software* Microsoft Excel. Ele é capaz de solucionar problemas de Pesquisa Operacional a partir de modelos pré-prontos, tais como programações lineares, não lineares ou não suaves. Segundo Almeida et al. (2016), o *Solver* pode ser considerado uma das principais ferramentas de resolução de modelos de Pesquisa Operacional pois é capaz de resolver várias simulações matemáticas, gerar relatórios bem detalhados, além de ser de fácil manuseio. De acordo com Stacanelli et al. (2015, p. 5), com a utilização do *Solver*, é possível obter um valor ideal (máximo ou mínimo) para uma célula, denominada célula objetivo, obedecendo as restrições, ou limites, sobre os valores de outras células em uma planilha.

### 3. Manutenção

Segundo a ABNT (NBR 5462/1994), manutenção pode ser definida como o conjunto de ações técnicas e administrativas que compreende o ramo e área industrial como um sistema único que tem como principal objetivo manter ou recolocar um equipamento, instalação ou maquinário de um determinado setor. Dessa forma, sua principal função é manter o pleno funcionamento dos equipamentos através de intervenções corretas e oportunas.

Várias formas adotadas para intervir na manutenção são normalmente designadas, as mais conhecidas pela classificação são as preventivas e corretivas. Recentemente surgiram os conceitos de manutenção preditiva e produtiva total, que são utilizados em várias empresas (MARTINS e LAUGENI, 2015). A manutenção preventiva, objetiva, segundo Souza (2008),

prevenir as consequências das falhas, a corretiva propõe-se a corrigir problemas que já tenham ocorrido, a preditiva trata da previsão ou antecipação da falha, usando parâmetros que possam indicar a evolução de uma falha, ganhando tempo assim, para corrigi-la se necessário. Enquanto a manutenção produtiva total atua de forma mais ampla, assim fazendo-se presente na forma organizacional, no comportamento das pessoas, na forma de tratar os problemas e não apenas no que diz respeito a manutenção tradicional, mas em todos os processos que são diretamente ligados a produção.

### **3.1. Manutenção preventiva**

A implementação da manutenção preventiva deu-se inicialmente no ramo aeronáutico em meados de 1930, tendo em vista a melhoria de diversos fatores, tais quais: redução de falhas mecânicas, redução de custos e melhoria da confiabilidade. Com êxito nesse setor, tal modalidade de manutenção passou a ser aplicada em diversas outras categorias com resultados positivos. Dessa forma, hoje é indicada para todo proprietário de certo bem que sofre desgaste e requer cuidados. Em suma, esta deve ser realizada seguindo intervalos predeterminados pelo fabricante ou pelo responsável da manutenção, com o intuito de reduzir falhas e prolongar a vida útil do item (PEREIRA, 2011).

A manutenção preventiva visa eliminar ou reduzir as probabilidades de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, troca de peças) segundo uma programação preestabelecida. Normalmente essa programação se dá pelos manuais de instalação e operação que acompanham os equipamentos fornecendo as instruções para a prevenção (SLACK et. al., 2009). Cada plano de manutenção preventiva é personalizado de acordo com o bem material em questão, já sendo calculado assim o tempo médio da troca de um componente ou limpeza. No caso de veículos de carga, pode-se destacar a troca dos filtros dos lubrificantes, lubrificantes do motor e transmissões, troca dos filtros de diesel, troca do filtro de ar e lubrificação geral do veículo. Normalmente durante a manutenção preventiva são inspecionados diversos itens, como: sistema de freios, direção, suspensão e circuitos elétricos, com o intuito de identificar possíveis falhas e planejar as corretivas, caso necessário (SCANIA, 2017). O não cumprimento desse segmento de manutenção pode acarretar fatores que englobam desde acidentes graves, até quebra de peças com valor altíssimo em comparação ao custo da manutenção preventiva, ratificando assim sua importância para o meio empresarial.

#### **4. Metodologia**

O presente trabalho se caracteriza como um estudo de caso no qual, formulou-se uma solução para determinado problema identificado em uma empresa. No caso, foi realizada uma modelagem matemática para um problema de otimização de custos, por meio da Pesquisa Operacional, utilizando análises quantitativas. A coleta de dados foi realizada de forma remota através de reuniões por vídeoconferência com membros da organização, que forneciam planilhas em formato *Excel* com dados de manutenção, custos e demandas, referentes ao ano de 2019, para o desenvolvimento do modelo. O modelo matemático foi solucionado no *Solver* do *Microsoft Excel*, obtendo-se um resultado otimizado para as variáveis de decisão, atendendo as restrições impostas.

##### **4.1 Caracterização da empresa**

A empresa estudada caracteriza-se como um operador logístico de uma empresa de bebidas, sediada do estado do Pará. Ela realiza o recebimento, armazenamento e distribuição logística das bebidas para a capital, Belém, e para a região em seu entorno, utilizando o modal de transporte rodoviário. Possui uma frota com 26 caminhões e 3 carretas, realizando em média 40 (quarenta) viagens por mês. Esses caminhões necessitam de manutenções periódicas, em itens tais como pneus, óleo e filtros, principalmente.

##### **4.2. Caracterização do problema**

O problema estudado consistiu na criação de um plano de compras dos itens de manutenção preventiva para o período de Agosto a Dezembro, em 4 tipos de trocas de pneus, 2 tipos de serviços de recapagem de pneus e 2 tipos de óleos, levando em consideração a demanda mensal da organização para a realização dessas atividades, sem atrapalhar o funcionamento das entregas. Essa demanda foi estipulada com base nos gastos de medidas de manutenção preventiva, fornecidas pela empresa antes da realização do estudo. Além disso, levou-se em consideração a possibilidade de estocagem de peças e a verba mensal máxima disponível para aplicação na manutenção preventiva, que era de R\$ 8500,00 por mês.

##### **4.3. Função objetivo**

A função objetivo do problema é minimizar os custos de gastos mensais da empresa com manutenção preventiva. Considerando as variáveis de decisão, apresentadas no Quadro 1 e os

custos unitários dos produtos a serem comprados e serviços a serem executados, apresentados na Tabela 01, tem-se a função objetivo, que é o somatório dos custos totais com compras e serviços e custos totais com manutenção do estoque.

Quadro 01 – Variáveis de decisão

| Variável | Descrição                                     |
|----------|---|
| QP1      | Quantidade de pneus do tipo 1 (pneu 275)      |
| QP2      | Quantidade de pneus do tipo 2 (pneu 295)      |
| QP3      | Quantidade de pneus do tipo 3 (pneu 900)      |
| QP4      | Quantidade de pneus do tipo 4 (pneu 1000)     |
| QRP1     | Quantidade de recapagens do pneu 1 (pneu 275) |
| QRP2     | Quantidade de recapagens do pneu 2 (pneu 295) |
| QO1      | Quantidade de óleo do tipo 1 (óleo de motor)  |
| QO2      | Quantidade de óleo do tipo 2 (óleo XV)        |
| QP1e     | Estoque de pneu do tipo 1 (pneu 275)          |
| QP2e     | Estoque de pneu do tipo 2 (pneu 295)          |
| QP3e     | Estoque de pneu do tipo 3 (pneu 900)          |
| QP4e     | Estoque de pneu do tipo 4 (pneu 1000)         |
| QO1e     | Estoque de óleo do tipo 1 (óleo de motor)     |
| QO2e     | Estoque de óleo do tipo 2 (óleo XV)           |
| SF       | Saldo financeiro no final do mês              |

Fonte: Os autores (2020)

Observa-se que, por se tratar de um serviço, não há estoque para recapagens.

Tabela 01- Custos unitários dos produtos a serem comprados e serviços a serem executados

| Produto/Serviço                     | Custo Unitário |
|-------------------------------------|----------------|
| Pneu 275                            | R\$ 1.479,33   |
| Pneu 295                            | R\$ 1.575,60   |
| Pneu 900                            | R\$ 917,50     |
| Pneu 1000                           | R\$ 1.120,01   |
| Recapagem 275                       | R\$ 428,92     |
| Recapagem 295                       | R\$ 1.018,34   |
| Óleo Motor                          | R\$ 275,30     |
| Óleo XV                             | R\$ 268,45     |
| Manutenção de estoque de Pneu 275   | R\$ 5,33       |
| Manutenção de estoque de Pneu 295   | R\$ 5,67       |
| Manutenção de estoque de Pneu 900   | R\$ 3,30       |
| Manutenção de estoque de Pneu 1000  | R\$ 4,03       |
| Manutenção de estoque de Óleo Motor | R\$ 0,99       |
| Manutenção de estoque do Óleo XV    | R\$ 0,97       |

Fonte: Os autores (2020)

Função Objetivo:

$$\begin{aligned}
 \text{MIN } Z = & 1479,33QP1a + 1479,33QP1s + 1479,33QP1o + 1479,33QP1n + 1479,33QP1d + \\
 & +1575,60QP2a + 1575,60QP2s + 1575,60QP2o + 1575,60QP2n + 1575,60QP2d + \\
 & +917,50QP3a + 917,50QP3s + 917,50QP3o + 917,50QP3n + 917,50QP3d + \\
 & +1120,01QP4a + 1120,01QP4s + 1120,01QP4o + 1120,01QP4n + 1120,01QP4d + \\
 & +1428,92QRP1a + 1428,92QRP1s + 1428,92QRP1o + 1428,92QRP1n + 1428,92QRP1d + \\
 & +1018,34QRP2a + 1018,34QRP2s + 1018,34QRP2o + 1018,34QRP2n + 1018,34QRP2d + \\
 & +275,30QO1a + 275,30QO1s + 75,30QO1o + 275,30QO1n + 275,30QO1d + \\
 & +268,45QO2a + 268,45QO2s + 268,45QO2o + 268,45QO2n + 268,45QO2d + \\
 & +5,33QP1ea + 5,33QP1es + 5,33QP1eo + 5,33QP1en + 5,33QP1ed + \\
 & +5,67QP2ea + 5,67QP2es + 5,67QP2eo + 5,67QP2en + 5,67QP2ed + \\
 & +3,30QP3a + 3,30QP3s + 3,30QP3o + 3,30QP3n + 3,30QP3d + \\
 & +4,03QP4a + 4,03QP4s + 4,03QP4o + 4,03QP4n + 4,03QP4d + \\
 & +0,99QO1ea + 0,99QO1es + 0,99QO1eo + 0,99QO1en + 0,99QO1ed + \\
 & +0,97QO2a + 0,97QO2s + 0,97QO2o + 0,97QO2n + 0,97QO2d + \\
 & + SFa + SFs + SFo + SFn + SFd
 \end{aligned}$$

Onde:

As variáveis estão acompanhadas de índices que representam os meses de acordo com o Quadro 02.

Quadro 02 – Índices dos meses

| Índice | Mês      |
|--------|----------|
| a      | Agosto   |
| s      | Setembro |
| o      | Outubro  |
| n      | Novembro |
| d      | Dezembro |

Fonte: Os autores (2020)

#### 4.4. Restrições

a) Restrições de custo:

O custo total do mês é igual à soma, dos custos de cada um dos produtos comprados, dos serviços realizados, e dos produtos mantidos em estoque no mês.

$$\begin{aligned}
 \text{CMa} = & 1479,33QP1a + 1575,60QP2a + 917,50QP3a + 1120,01QP4a + 428,92QRP1a + \\
 & 1018,34QRP2a + 275,30QO1a + 268,45QO2a + 5,33QP1ea + 5,67QP2ea + 3,30QP3ea + \\
 & 4,03QP4ea + 0,99QO1ea + 0,97QO2ea
 \end{aligned}$$

$$CM_s = 1479,33QP_{1s} + 1575,60QP_{2s} + 917,50QP_{3s} + 1120,01QP_{4s} + 428,92QRP_{1s} + 1018,34QRP_{2s} + 275,3QO_{1s} + 268,45QO_{2s} + 5,33QP_{1es} + 5,67QP_{2es} + 3,30QP_{3es} + 4,03QP_{4es} + 0,99QO_{1es} + 0,97QO_{2es}$$

$$CM_o = 1479,33QP_{1o} + 1575,60QP_{2o} + 917,50QP_{3o} + 1120,01QP_{4o} + 428,92QRP_{1o} + 1018,34QRP_{2o} + 275,3QO_{1o} + 268,45QO_{2o} + 5,33QP_{1eo} + 5,67QP_{2eo} + 3,30QP_{3eo} + 4,03QP_{4eo} + 0,99QO_{1eo} + 0,97QO_{2eo}$$

$$CM_n = 1479,33QP_{1n} + 1575,60QP_{2n} + 917,50QP_{3n} + 1120,01QP_{4n} + 428,92QRP_{1n} + 1018,34QRP_{2n} + 275,3QO_{1n} + 268,45QO_{2n} + 5,33QP_{1en} + 5,67QP_{2en} + 3,30QP_{3en} + 4,03QP_{4en} + 0,99QO_{1en} + 0,97QO_{2en}$$

$$CM_d = 1479,33QP_{1d} + 1575,60QP_{2d} + 917,50QP_{3d} + 1120,01QP_{4d} + 428,92QRP_{1d} + 1018,34QRP_{2d} + 275,3QO_{1d} + 268,45QO_{2d} + 5,33QP_{1ed} + 5,67QP_{2ed} + 3,30QP_{3ed} + 4,03QP_{4ed} + 0,99QO_{1ed} + 0,97QO_{2ed}$$

Onde:

CM<sub>a</sub> = Custo com manutenção Preventiva em Agosto

CM<sub>s</sub> = Custo com manutenção Preventiva em Setembro

CM<sub>o</sub> = Custo com manutenção Preventiva em Outubro

CM<sub>n</sub> = Custo com manutenção Preventiva em Novembro

CM<sub>d</sub> = Custo com manutenção Preventiva em Dezembro

b) Restrições de continuidade de estoque:

A soma da quantidade comprada no mês corrente com o estoque do final do mês anterior deve ser igual a, soma da demanda com o estoque do final do mês corrente.

$$QP_{1a} + QP_{e1j} = DP_{1a} + QP_{1ea}$$

$$QP_{2a} + QP_{e2j} = DP_{2a} + QP_{2ea}$$

$$QP_{3a} + QP_{e3j} = DP_{3a} + QP_{3ea}$$

$$QP_{4a} + QP_{e4j} = DP_{4a} + QP_{4ea}$$

$$QO_{1a} + QO_{1j} = DO_{1a} + QO_{1ea}$$

$$QO_{2a} + QO_{2j} = DO_{2a} + QO_{2ea}$$

Observa-se que o estoque no final de julho foi considerado zero.

c) Restrições de continuidade de verba:

O saldo financeiro no final do mês anterior mais a verba disponível no mês corrente, deve ser igual a, soma do custo de manutenção preventiva do mês corrente mais o saldo financeiro no final do mês corrente.

$$SFj + 8500 = CMa + SFa$$

$$SFa + 8500 = CMs + SFs$$

$$SFs + 8500 = CMo + SFo$$

$$SFo + 8500 = CMn + SFn$$

$$SFn + 8500 = CMd + SFd$$

SFj = Saldo financeiro no final de julho

SFa = Saldo financeiro no final de agosto

SFs = Saldo financeiro no final de setembro

SFo = Saldo financeiro no final de outubro

SFn = Saldo financeiro no final de novembro

SFd = Saldo financeiro no final de dezembro

Observa-se que a verba mensal disponível para manutenção preventiva considerou-se igual em todos os meses e tem o valor de R\$8500,00. Além disso, o saldo financeiro no final de julho fornecido pela empresa foi de R\$ 500,00.

d) Restrições de quantidade máxima de itens e serviços:

A soma da demanda mensal com a quantidade em estoque no final do mês corrente, tem que ser menor ou igual à quantidade máxima de itens que a empresa pode comprar com seus recursos financeiros disponíveis.

Tabela 02 – Quantidades máximas de itens que a empresa pode comprar

| <u>Produto/Serviço</u> | <u>Quantidade Máxima</u> |
|------------------------|--------------------------|
| Pneu 275               | 2                        |
| Pneu 295               | 1                        |
| Pneu 900               | 1                        |
| Pneu 1000              | 1                        |
| Óleo Motor             | 1                        |
| Óleo XV                | 1                        |

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Recapagem 275            | 3 |
| Recapagem 295            | 1 |
| Fonte: Os autores (2020) |   |

$$QP1a + QP1ea \leq 2$$

$$QP2a + QP2ea \leq 1$$

$$QP3a + QP3ea \leq 1$$

$$QP4a + QP4ea \leq 1$$

$$QO1a + QO1ea \leq 1$$

$$QO2a + QO2ea \leq 1$$

$$QR1a \leq 3$$

$$QR2a \leq 1$$

e) Restrição de não negatividade e inteiros

Esta restrição limita o valor das variáveis a números não-negativos e inteiros, com exceção dos saldos financeiros, que podem ser fracionadas.

## 5. Resultados e Discussão

Com a resolução do modelo, obteve-se um plano de compras para manutenção preventiva, conforme apresentado na Tabela 03.

Tabela 03 - Resultado do modelo

| Variável | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|----------|--------|----------|---------|----------|----------|
| QP1      | 2      | 2        | 2       | 2        | 2        |
| QP2      | 1      | 1        | 1       | 1        | 1        |
| QP3      | 1      | 0        | 0       | 1        | 0        |
| QP4      | 1      | 0        | 0       | 1        | 0        |
| QRP1     | 2      | 2        | 2       | 3        | 2        |
| QRP2     | 1      | 1        | 0       | 1        | 0        |
| QO1      | 1      | 1        | 1       | 1        | 1        |
| QO2      | 1      | 1        | 1       | 1        | 1        |

Fonte: Os autores (2020)

O modelo demonstrou também que não deve ser guardado produto em estoque, pois aumenta os custos. O saldo financeiro que ficou de um mês para o outro também foi encontrado pela solução, como demonstra a Tabela 04, utilizando-se SFj como saldo financeiro no final do

mês de julho.

Tabela 04 - Verba guardada no final de cada mês

| VARIÁVEL    | SFA  | SFS     | SFO     | SFN     | SFD     |
|-------------|------|---------|---------|---------|---------|
| VALOR (R\$) | 8,30 | 1554,11 | 4118,26 | 3197,54 | 5761,79 |

Fonte: Os autores (2020)

A seguir, na Tabela 05, apresentam-se os custos mensais.

Tabela 05 - Custo mensal obtido pelo plano

| CUSTO MENSAL | CMA     | CMS     | CMO     | CMN     | CMD     |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| VALOR (R\$)  | 8991,70 | 6954,17 | 5935,85 | 9420,62 | 5935,85 |

Fonte: Os autores (2020)

Em um cenário em que a verba disponível é constante, no valor de R\$ 8.500,00 por mês, há uma sobra de recursos muito grande, como expresso no mês de dezembro, que acaba por ser ocioso e teoricamente guardado de forma excessiva para um ciclo posterior. Nesta forma de aplicação, tem-se um valor de custo de R\$ 51.878,31. Uma forma de otimizar os custos, é aplicar verbas variáveis por mês, atendendo a demanda e eliminando gastos ociosos, gerando um custo de R\$ 37.238,21, com os recursos mensais igual aos custos expressos na Tabela 05. Os custos gerados atualmente pela empresa em estudo com a manutenção preventiva totalizam R\$ 42.065,72. Observa-se, portanto que, se for utilizado o planejamento sugerido pelos resultados do modelo matemático, pode-se obter a redução dos custos em 11,48%, correspondente a R\$ 4.827,51, conforme a Tabela 06.

Tabela 06 – Diferença de custos

| CUSTO       | ATUAL     | MODELO MATEMÁTICO | REDUÇÃO  |
|-------------|-----------|-------------------|----------|
| VALOR (R\$) | 42.065,72 | 37.238,21         | 4.827,51 |

Fonte: Os autores (2020)

Um dos eventos possíveis de ocorrer é de um pico de demanda em outro mês, diferente de novembro. Considerando um Cenário 2, onde o pico de demanda ocorre em dezembro, conforme a Tabela 07, analisou-se o novo resultado otimizado encontrado, apresentado na Tabela 08.

Tabela 07 – Demanda com pico em dezembro

| Variável | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|----------|--------|----------|---------|----------|----------|
| QP1      | 2      | 2        | 2       | 2        | 2        |
| QP2      | 1      | 1        | 1       | 1        | 1        |
| QP3      | 1      | 0        | 0       | 1        | 1        |
| QP4      | 1      | 0        | 0       | 1        | 1        |
| QRP1     | 2      | 2        | 2       | 2        | 3        |
| QRP2     | 1      | 1        | 0       | 1        | 1        |
| QO1      | 1      | 1        | 1       | 1        | 1        |
| QO2      | 1      | 1        | 1       | 1        | 1        |

Fonte: Os autores (2020)

Tabela 08- Resultado do novo cenário

| Variável | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|----------|--------|----------|---------|----------|----------|
| QP1      | 2      | 2        | 2       | 2        | 2        |
| QP2      | 1      | 1        | 1       | 1        | 1        |
| QP3      | 1      | 0        | 0       | 1        | 1        |
| QP4      | 1      | 0        | 0       | 1        | 1        |
| QRP1     | 2      | 2        | 2       | 2        | 3        |
| QRP2     | 1      | 1        | 0       | 1        | 1        |
| QO1      | 1      | 1        | 1       | 1        | 1        |
| QO2      | 1      | 1        | 1       | 1        | 1        |

Fonte: Os autores (2020)

Dentro desse cenário, também não há estoques. Quanto aos valores de saldos e de custos mensais, os resultados estão respectivamente descritos nas Tabelas 09 e 10, sendo a verba inicial SFj de 500,00.

Tabela 09- Verbas no novo cenário

| VERBAS        | SFA  | SFS      | SFO      | SFN      | SFD      |
|---------------|------|----------|----------|----------|----------|
| VALORES (R\$) | 8,30 | 1.554,11 | 4.118,26 | 3.626,56 | 2.705,94 |

Fonte: Os autores (2020)

Tabela 10 – Custos mensais no novo cenário

| CUSTOS        | CMA      | CMS      | CMO      | CMN      | CMD      |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| VALORES (R\$) | 8.991,70 | 6.954,19 | 5.935,85 | 8.991,70 | 9.420,92 |

Fonte: Os autores (2020)

Demonstra-se então que há um menor saldo financeiro no final do ciclo, reduzido para R\$

2.705,94, no uso da verba constante. Porém, há um acréscimo de custo total, com o valor da função objetivo igual a R\$ 52.307,23, o que representa um pequeno aumento de 0,82%. Utilizando-se as verbas variáveis e nos valores expressos nos custos, percebe-se que a despesa obtida é de R\$ 40.294,06, representando também uma diminuição no valor atual fornecido pela empresa conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Variações de valores

| Custo         | Real      | Cenário 1 | Cenário 2 | Variação Cenários | Variação no custo real |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|------------------------|
| Valores (R\$) | 42.065,72 | 37.238,21 | 40.294,06 | 7,58%             | 4,21%                  |

Fonte: Os autores (2020)

Portanto, mostra-se que a aplicação do modelo ainda gera uma diminuição do custo, mesmo ocorrendo uma transferência de pico de demanda. Em contrapartida, a ocorrência de um novo pico provavelmente não seria sustentada pela verba atual, uma vez que o custo atual se aproxima do real, podendo gerar um futuro aumento excessivo de gastos.

## 6. Conclusão

O artigo demonstrou a aplicação da Pesquisa Operacional para redução de custos em uma empresa, especificamente na área de manutenção, de modo que os recursos são utilizados de forma otimizada, permitindo uma economia de até 11,4%. Com estudo de cenários, observou-se que alterações na demanda mensal, podem acarretar efeitos significativos no custo. Os estoques não são aconselhados para esta empresa, uma vez que a verba disponível é suficiente para realizar as compras demandadas.

Uma limitação no estudo, foi a falta de registro de dados mensais, o que acabou por fazer com que alguns parâmetros fossem estimados a partir de outras informações fornecidas. Ainda assim, o modelo gerou resultados norteadores para importantes decisões gerenciais. Diante disso, é sugerido para a empresa o registro de tais dados e, ajuste dessas pequenas estimativas, para se gerar um resultado mais aderente a sua realidade.

Além disso, orienta-se a administração das verbas para se ter um valor variável em cada mês, podendo evitar o surgimento de capital ocioso no final dos ciclos, permitindo possíveis investimentos.

Dessa forma, pode-se concluir que a Pesquisa Operacional é uma ferramenta importante para auxiliar tomadas de decisões gerenciais, possibilitando reduções de custos e planejamentos

otimizados na área de manutenção e que, o estudo de medidas preventivas deve ser priorizado a fim de evitar desperdícios de recursos.

## REFERÊNCIAS

ABENSUR, Eder Oliveira. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia de Produção**. São Paulo: Blucher, 2018.

ALMEIDA, Amanda Claudino et al. Minimização de custos através da Pesquisa Operacional: Estudo de caso em uma empresa do ramo alimentício. In: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2016, João Pessoa. **Anais do XXXVI ENEGEP**, Abepro, 2016.

CAIXETA-FILHO, José Vicente. **Pesquisa Operacional**. São Paulo: Atlas, 2001.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J.. **Introdução a Pesquisa Operacional**. São Paulo: Amgh Editora Ltda., 2013.

MARINS, Fernando Augusto Silva. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, 2011.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da Produção**. 3 ed. – São Paulo: Saraiva, 2015.

MINTZBERG, Henry. **The Nature of Managerial Work**. Nova York: Harper and Row, 1973.

PEREIRA, Mário. **Engenharia de manutenção teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011.

RODRIGUES, Luis Henrique et al. **Pesquisa Operacional - Programação linear passo a passo: do entendimento do problema à interpretação da solução**. São Leopoldo: Unisinos, 2014.

SCANIA. **Portal da Scania**: Dados internos. Contagem: Scania, 2017.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

SOUZA, R. D.. **Análise da gestão da manutenção focando a manutenção centrada na confiabilidade: Estudo de caso MRS logística**; (Monografia), Graduação em Engenharia de Produção; Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, 54 p., 2008.

STACANELLI, Thaís Machado et al. Aplicação da Programação Linear para a otimização da produção em um laticínio localizado na região centro-oeste de Minas Gerais. In: XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2015, Fortaleza. **Anais do XXXV Enegep**, Abepro, 2015.

VIRGILLITO, Salvatore Benito. **Pesquisa Operacional**: métodos de abordagem quantitativa para a tomada de decisões. São Paulo: Saraiva Educação, 2017.