

Emprego de Pesquisa Operacional como ferramenta para obter soluções de minimização de custos em serviços com caminhões basculantes

Daniel Ferreira Cunha (CESUC) cunha.tst@hotmail.com
Emerson William da Silva (CESUC) emerson.w.silva@bol.com.br

Resumo:

As decisões administrativas visando reduzir custos e otimizar os processos e serviços constituem fator decisivo para sobrevivência das organizações. Erros cometidos nestas deliberações implicam em prejuízos e desperdícios de recursos, tempo e mão de obra que afetarão negativamente as finanças e os lucros da empresa. Portanto o gestor não pode depender somente da sua intuição ou experiência para tomar essas resoluções. É importante utilizar ferramentas e técnicas capazes de incorporar um maior grau de confiabilidade e probabilidade de êxito em suas decisões. Através do uso da Pesquisa Operacional (PO), desenvolvida durante a Segunda Guerra Mundial, foi possível obter grandes avanços nos processos operacionais e administrativos em diversos seguimentos industriais, comerciais e governamentais. O seu método científico proporcionou maior precisão e eficiência para gerar soluções ótimas para problemas diversos. Neste estudo foi utilizado a ferramenta de PO visando minimizar os custos operacionais de uma empresa de transporte de materiais em caminhões caçambas, que atua na prestação de serviços no terminal rododiferroviário de uma mineradora de fosfatos de Catalão Go. A solução obtida na simulação foi aplicada de forma prática durante um período de três meses para verificar sua real eficiência e aplicabilidade nas operações estudadas.

Palavras chave: Tomada de Decisões. Minimização de Custos Operacionais. Pesquisa Operacional.

Operational reserch employment as a tool to obtain solutions of minimization of costs in services with tilt trucks

Abstract

Administrative decisions aimed at reducing costs and optimizing processes and services are decisive factors for the survival of organizations. Errors committed in these deliberations imply losses and waste of resources, time and labor that will negatively affect the finances and profits of the company. Therefore the manager can not depend only on his intuition or experience to make these resolutions. It is important to use tools and techniques capable of incorporating a greater degree of reliability and probability of success in their decisions. Through the use of Operational Research (OP), developed during World War II, it was possible to obtain great advances in the operational and administrative processes in several industrial, commercial and governmental follow-ups. Its scientific method has provided greater precision and efficiency to generate optimal solutions for diverse problems. In this study, the PO tool was used to minimize the operational costs of a material transport company in bucket trucks, which provides services in the road and rail terminal of a Catalão Go phosphate mining company. during a period of three months to verify its real efficiency and applicability in the operations studied.

Key-words: Decision-making. Minimization of Operating Costs. Operational Research.

1. Introdução

Uma das principais questões impostas para os gestores das organizações – contemporâneas - que utilizam máquinas e equipamentos em seus processos produtivos, trata-se de qual é a forma mais vantajosa e eficaz de alocar estes recursos com o objetivo de minimizar custos

operacionais e maximizar os lucros dos seus processos e serviços. Na atual conjectura de mercado do país e nas dificuldades financeiras e econômicas que a maioria das empresas nacionais enfrentam, a partir de 2015, qualquer desperdício de tempo, material ou recurso pode acarretar em prejuízos catastróficos nos resultados da organização. Nunca o conceito de Just in Time foi tão necessário e importante como nos dias atuais para as empresas brasileiras. Para Oliveira (2007, p.300) “Just in Time é a guerra total contra o desperdício. Significa produzir no momento certo, na quantidade exata e na qualidade esperada.” Diversos fatores corroboram para a dificuldade das empresas em otimizar seus processos produtivos e de serviços. Dentre eles podemos citar: falta de um departamento específico para o planejamento e controle da Produção, decisões e alocação de recursos baseado somente em fatores empíricos e pessoais do proprietário, gestor ou tomador de decisões, carência no uso de ferramentas e conceitos de gestão da produção, super dimensionamento ou dimensionamento inadequado de seus equipamentos produtivos, decisões tomadas no achismo, falta de padronização de máquinas e equipamentos, escassez de mão de obra qualificada e ausência do emprego de ferramentas estatísticas e matemáticas para obter maior probabilidade de sucesso nas decisões tomadas

Com relação ao último aspecto mencionado, uma das ferramentas matemáticas muito utilizada em diversas organizações como apoio para tomada de decisões é a Pesquisa Operacional (PO).

De acordo com Hillier (2006, p.2), “a pesquisa operacional envolve pesquisa sobre operações. Portanto, ela é aplicada em problemas envolvendo como conduzir e coordenar as *operações* (isto é, as *atividades*) em uma organização.”

Este artigo tem por finalidade realizar uma aplicação prática de Pesquisa Operacional em uma empresa de médio porte e de base familiar no seguimento de prestação de serviços de transporte e remoções de materiais sólidos em caminhões do tipo caçambas basculantes em uma mineradora do interior de Goiás, logrando como resultado obter a melhor configuração de modelos de caminhões e quantidades mínimas necessárias de equipamentos por dia de trabalho para diminuir os custos operacionais e definir quais os melhores modelos de equipamentos para o processo. Para isso será utilizado o suplemento Solver do software Excel da Microsoft® para resolução da modelagem proposta.

2. Fundamentação Teórica

Uma das principais questões que os administradores de empresas de prestação de serviço lidam é com relação ao planejamento e gestão da capacidade e da demanda de um sistema para atender seus clientes. Esse assunto se caracteriza como questão problemática, pois o seu correto ajuste é fator de sucesso ou fracasso em uma organização.

O administrador de serviços preocupa-se com decisões sobre capacidade por várias razões. Primeiro, porque é necessário ter capacidade suficiente para atender clientes quanto necessário. Depois, porque essas questões afetam o desempenho dos custos (tanto em investimento como em manutenção de instalações) do sistema de operações, afetam o desempenho em termos de tempos (velocidade da prestação do serviço e capacidade de cumprir prazos) que o sistema apresenta. (GIANESE; CORREA, 1994, p. 156)

Um dos pontos básicos para o dimensionamento adequado da capacidade de um sistema é os equipamentos que serão necessários nos processos produtivos e suas quantidades e modelos. No presente estudo esse problema se refere a escolha adequada do número de caminhões e os modelos mais eficientes para atender a demanda do cliente - que é o transporte físico de materiais dentro de uma Mineradora - e obter o menor custo operacional possível. Para Novaes

(2007) a distribuição física de materiais tem como objetivos primários, levar os materiais necessários, nos devidos lugares, no tempo certo pelo menor custo possível. Esse conceito implica - para os agentes destas atividades - controlar muitas variáveis que influenciam (direta ou indiretamente) na realização destes serviços e afetam os preços e a satisfação dos clientes que contratam os mesmos. É fundamental que o tomador de decisões na hora de realizar a escolha dos modelos de equipamentos que serão utilizados tenha, além do conhecimento inespecífico dos serviços, todas as informações pertinentes sobre os anseios e expectativas de seus clientes e os indicadores que deverão ser atendidos para garantir e mensurar esta satisfação.

Para a escolha e seleção dos veículos de transporte de materiais, de acordo com Gurgel (2000), há uma série de fatores que devem ser analisadas, exemplos: volume de material que deverá ser transportado, as distâncias e percursos envolvidos, as condições topográficas do terreno e da praça de operações, características do material a ser levado, tipo de clima local (frio, quente ou muito úmido), impactos ambientais que estes equipamentos irão gerar e outras considerações que deverão ser levadas em conta para desígnio mais adequado destes ativos.

Após a definição dos caminhões e início das atividades, o gestor deverá coordenar os trabalhos visando o melhor aproveitamento possível da mão de obra, gastos com combustível, manutenção e organização da frota, para obter a máxima eficiência nos serviços prestados e diminuir custos. Como observado todas estas etapas envolvem tomar decisões que na grande maioria são definidas somente pela experiência, sensibilidade ou senso crítico do agente decisório, sem utilizar ferramentas estatísticas ou estudos mais técnicos que utilizem processos científicos para alicerçar e validar estas decisões com maior grau de confiabilidade. Ou ainda realizar simulações, com diversos cenários possíveis, utilizando algum software para testar as possíveis soluções antes de implementar no mundo real e ter prejuízos no caso de fracassos.

Neste contexto a Pesquisa Operacional pode ser aplicada nos diversos tipos de problemas de uma organização, o seu dinamismo para simular soluções e alternativas para que segundo Hillier (2006, p.2), se resume em “encontrar uma melhor solução (conhecida como solução ótima) para o problema considerado”, são obtidas por meios matemáticos através da modelagem da situação analisada em equações, inequações e variáveis que serão processadas para gerar as possíveis soluções do problema. É evidente que algumas questões nas organizações podem ser resolvidas levando em conta somente a sensibilidade, experiência e raciocínio lógico do administrador para serem solucionadas, mas com problemas mais complexos, com várias incógnitas e muitos dados a serem considerados a utilização de uma ferramenta como a PO irá criar mais possibilidades e dinamismos nas soluções e maior probabilidade de êxito.

Nos processos decisórios em operações, as duas opções devem ser utilizadas conjuntamente, para melhorar ainda mais o processo de tomada de decisão; a intuição do tomador de decisão deve ajudá-lo na seleção das informações relevantes, nos possíveis cenários a serem estudados, na validação do modelo e análise dos seus resultados. (LACHERMACH, 2007, p.3)

Ainda de acordo com Hillier (2013), a utilização da pesquisa operacional em vários tipos de empresas, negócios e serviços pelo mundo, gerou ganhos notáveis, contribuindo com aumento de produtividade, gestão de insumos, uso racional de recursos naturais e diminuição nos custos operacionais das organizações. Portanto, realizar um estudo de aplicação de Pesquisa Operacional para quantificar equipamentos produtivos, definir suas quantidades e modelos é vantajoso para organização para: otimizar os processos e reduzir custos tornando a empresa

mais competitiva e lucrativa para seus proprietários, o que irá garantir a sobrevivência da mesma e manutenção dos postos de trabalho, proporcionando benefícios para sociedade.

2.1 Planilhas Eletrônicas e a Pesquisa Operacional

O desenvolvimento da informática nas últimas décadas contribuiu com avanços nas áreas da ciência e do conhecimento humano. Nas empresas seu uso está em constante evolução e crescimento, atingindo vários processos, setores e níveis das organizações, incorporando facilidades e rapidez no processamento de informações e na automação de tarefas e serviços.

De acordo com Moore e Weatherford (2005) as planilhas estão se tornando a língua *franca* da Administração. Estes programas se destacam por sua multiplicidade dos dados que podem ser trabalhados (textos, números, imagens...etc.), relativa facilidade no uso, rápida visualização de informações, criação de gráficos e infográficos, dinamismo e adequação a várias situações e demandas administrativas-organizacionais.

Esta facilidade se incorpora a Pesquisa Operacional, em que softwares de planilhas como Excel desenvolveram o Solver que é um suplemento específico para resolver problemas de PO.

2.2 Solver

É um suplemento disponível no Microsoft Excel que permite encontrar soluções de Pesquisa Operacional e realizar simulações com mudanças de parâmetros da modelagem matemática.

Segundo Gomes Jr. e Souza (2004), ao utilizar o solver é possível obter um valor ideal que dependendo do objetivo pode ser: minimizar ou maximizar o valor de uma célula específica da planilha onde será expresso o valor da função objetiva, que é influenciado por outras variáveis, coeficientes e funções correspondente as restrições do problema. Uma vez modelado e definido estas funções é possível criar várias simulações alterando estes parâmetros e comparando os resultados para escolher a melhor solução.

No presente artigo foi definido o uso do Solver para resolver o problema proposto de pesquisa operacional, pela popularidade do uso do Excel nas empresas Brasileiras, tornando acessível para organizações interessadas em utilizar as informações e aplicações deste estudo em seus processos.

3. Fonte de dados

Este estudo irá analisar um problema de alocação e definição dos modelos mais adequados de caminhões basculantes e suas respectivas quantidades, para que uma empresa do ramo de prestação de serviços do seguimento de transporte de cargas, atenda a demanda do seu cliente - uma mineradora multinacional do ramo de fosfatos localizada em Catalão Goiás - objetivando ter o menor custo operacional com os equipamentos. O caso será tratado e analisado sobre a ótica e uso de Pesquisa Operacional. O problema pode ser modelado e otimizado através de programação Linear. De acordo com Fávero (2013), para que um modelo matemático seja considerada linear ele deve envolver apenas constantes e termos com variáveis de primeira ordem. Caso contrário, a função é dita não linear. Como o caso em questão tanto a função objetiva quanto as restrições são representadas por funções e inequações lineares sendo possível tomar esta abordagem na aplicação do modelo.

3.1 Descrição da Empresa

Por questões internas a empresa solicitou a não divulgação do seu nome neste artigo. A atividade da organização objeto de estudo é o de transporte de cargas solidas em caminhões basculantes. A matriz está localizada em Cubatão SP e possui uma filial em Catalão GO. Este artigo é referente a Catalão. A contratante é uma mineradora Multinacional do seguimento de fosfatos e o serviço prestado é no Terminal-Rodo-Ferrovário no município de Catalão.

As atividades executadas para a contratante do serviço é o de transporte em caminhões basculantes de materiais diversos como: sulfato de cálcio para estocar em bota-fora, rocha fosfática, TSP – superfosfato triplo, sulfato de cálcio decantado e resíduos diversos gerados nos processos internos da fábrica. A empresa possui um total de 17 caminhões distribuídos em três modelos diferentes e com capacidade de transporte, consumo de combustível e custos operacionais distintos. O trabalho ocorre 8 horas por dia, de segunda a sábado. Para realizar o serviço existem 14 motoristas, sendo por tanto 14 a quantidade máxima de caminhões que pode trabalhar por dia. Os 3 equipamentos restantes ficam de reserva caso ocorra problemas nos caminhões que estão trabalhando.

3.2 A frota de Caminhões.

Todo trabalho é realizado com caminhões basculantes da marca Volkswagen, sendo os mesmos distribuídos em três modelos diferentes e em quantidades distintas, com capacidades de cargas, consumo de combustível e custos operacionais díspares, formando uma frota de 17 equipamentos, como podemos verificar na **Tabela 1**.

Tabela 1: Descrição dos modelos de caminhões da Empresa.

Tipo: Caminhão Basculante	Fabricante / Modelo	Capacidade de Transporte	Quantidades existentes	Observações
	Volkswagen / Constellation VW 31 260 – 6X4	23. 5 toneladas	6	4º eixo, caçamba alongada carrega mais material.
	Volkswagen / Constellation VW 31 260 – 6X4	19 toneladas	7	3 eixos, caçamba normal.
	Volkswagen / Constellation VW 15 180	9 Toneladas	4	2 eixos, modelo toco, menor capacidade de carga.

Fonte: Informações fornecidas pela empresa

Para facilitar o estudo iremos atribuir uma variável a cada modelo de caminhão como segue abaixo:

- **X1** = Constellation VW, 31 260, 6X4 – 4 EIXOS;
- **X2** = Constellation VW, 31 260, 6X4 – 3 EIXOS;
- **X3** = Constellation VW, 15 180 – 2 EIXOS.

A empresa informou que os caminhões do modelo X1, apesar de transportar maior quantidade de material, tem consumo mais elevado de combustível em relação aos demais, e custos operacionais superiores, pois possui um eixo e par de Pneus extras e algumas peças como: feixes

de molas, transmissão e o sistema de freios precisam de reparos em menor tempo do que os outros equipamentos. Provavelmente devido a maior quantidade de carga transportada.

O modelo X2 tem consumo inferior de combustível e necessita de menos manutenções do que o X1, porem transporta menor quantidade de cargas – 4.5 toneladas a menos.

O modelo X3 possui o menor custo operacional em comparação aos demais, mas a capacidade de carga é muito inferior em relação aos outros. Sua utilização implica em mais viagens para compensar essa defasagem.

3.3 Coleta de dados do estudo.

Para Olsen (2015), a coleta de dados é um processo sistemático, realizada por um pesquisador ou estudioso, para obter informações de forma imparcial e estruturada para gerar conhecimentos ou hipóteses sobre o objeto em estudo. De acordo com tal definição foi realizado uma pesquisa a nível gerencial e com os funcionários da operação obtendo-se as seguintes informações:

Por dia trabalham 14 motoristas, portanto este é o número máximo de caminhões possíveis de serem utilizados. A empresa informou que a quantidade mínima de material que ela necessita transportar por mês – pelo contrato - é de **145.000** toneladas. Se por erro de operação ou qualquer motivo referente a problemas internos (quebra de caminhões, falta de motorista e outros) a mesma não cumprir o escopo, a contratante cobra multas contratuais - o valor não foi revelado.

A contratante do serviço usa para os cálculos da quantidade de material transportado o seguinte sistema: antes de iniciar os carregamentos os caminhões pesam vazios na balança rodoviária existente no pátio da mesma, depois pesam novamente carregados. No decorrer do dia, anotam a quantidade de viagens que foram realizadas. Ao final da jornada de trabalho, fazem mais uma pesagem. Com o peso do primeiro e do último transporte, obtém-se uma média que é multiplicada pelo número de viagens apontados. Segundo informações da organização cada equipamento consegue fazer em média 3 viagens por hora. As distâncias percorridas pelos caminhões do local de carregamento até o ponto de descarga é em média de 500 metros. Segue **Figura 1** o fluxo da atividade.

Figura 1 - Fluxograma do serviço de transportes de materiais realizado pela empresa



Fonte: Autor (2016)

3.3.1 Dados para modelagem do problema.

Para viabilizar a modelagem do caso analisado, foi necessário trabalhar com valores médios dos custos e recursos utilizados pelos modelos dos caminhões, pois estes dados sofrem uma série de variações no decorrer dos meses, devido a diversos fatores como por exemplo: o tipo de material mais transportado no mês, o fator humano nas operações (erros humanos que geram danos ou perdas de tempo), preço dos combustíveis e lubrificantes vigente no mês e outros fatores. Segue abaixo na **Tabela 2** – fornecida pela empresa - os valores médios mensais dos custos, com cada modelo de caminhão e os itens contabilizados para compor os valores. Para Smailes (2016, p.90), “a média aritmética é uma medida estatística que é calculada adicionando-se todos os possíveis valores de um conjunto de dados e dividindo-se o resultado pelo número de itens deste conjunto.” Por tanto toda modelagem será realizada com valores médios obtidos através dos dados fornecidos pela empresa estudada.

É importante informar que neste estudo não foram considerados os valores referente a mão de obra dos motoristas, pois a empresa tem seu próprio sistema de custeio que aloca estes valores separados dos custos com equipamentos.

Tabela 2 – Custos médios por mês por modelo de caminhões

ITENS CONTABILIZADOS	MODELOS DE CAMINHÕES		
	X1	X2	X3
COMBUSTÍVEL	R\$ 5.118,00	R\$ 4.557,00	R\$ 2.871,00
MANUTENÇÃO	R\$ 2.000,00	R\$ 1.500,00	R\$ 800,00
LUBRIFICANTES	R\$ 460,00	R\$ 400,00	R\$ 200,00
PNEUS	R\$ 500,00	R\$ 250,00	R\$ 100,00
IMPOSTOS	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 200,00
IMPREVISTOS	R\$ 750,00	R\$ 500,00	R\$ 200,00
SEGURO	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 150,00
LAVAGEM	R\$ 500,00	R\$ 500,00	R\$ 250,00
TOTAL POR MODELO	R\$ 9.928,00	R\$ 8.307,00	R\$ 4.771,00

Fonte: Dados fornecidos pela empresa

O custo total será utilizado na modelagem como coeficiente de cada modelo de equipamento (cada variável de decisão).

Como é possível visualizar na **Tabela 2** o gasto principal com equipamento é com relação ao combustível, representando 51,55% para o modelo X1, 54,86% para o X2 e 60,18% para o X3. Neste sentido, será imposto uma restrição com relação ao consumo em litros de combustível mensal que a empresa irá delimitar para reduzir seus custos.

O segundo maior gasto é com a manutenção dos caminhões. Este item se deve em grande parte ao ambiente agressivo de algumas unidades e materiais que os mesmos transportam, pois determinados produtos e resíduos são prejudiciais aos sistemas mecânicos e eletrônicos dos equipamentos, reduzindo a vida útil de componentes e peças. A empresa estipulou como valor máximo para custos com manutenção um total de R\$ - 21.000,00 / mês; este item representará outra das restrições do problema.

3.3.2 Capacidade média de Transporte por modelo de caminhão

Segue abaixo a capacidade média, em toneladas por mês, de transporte que cada modelo de caminhão consegue realizar. Esta média foi fornecida pela empresa de acordo com seu banco

de dados e registros de movimentação dos materiais ao longo dos 3 anos que a mesma realiza esta atividade.

- X1 = 14.664 toneladas / mês
- X2 = 11.856 toneladas / mês
- X3 = 5.616 toneladas / mês

Este item será tratado como uma das restrições da modelagem, pois para atender o contrato a empresa precisa transportar uma quantidade mínima de **145.000 toneladas/mês** de material para não pagar multas contratuais.

3.3.3 Consumo médio mensal de combustível por modelo de caminhões.

Segundo os dados fornecidos pela empresa o consumo médio em litros de combustível por mês para cada modelo de caminhões segue conforme **Tabela 3**

Tabela 3 – Consumo médio mensal de combustível, em litros, por modelo de caminhão

MODELOS DE CAMINHÕES	CONSUMO MÉDIO DE COMBUSTÍVEL POR MÊS	UNIDADE
X1	1.705,60	LITROS
X2	1.518,40	LITROS
X3	956,80	LITROS

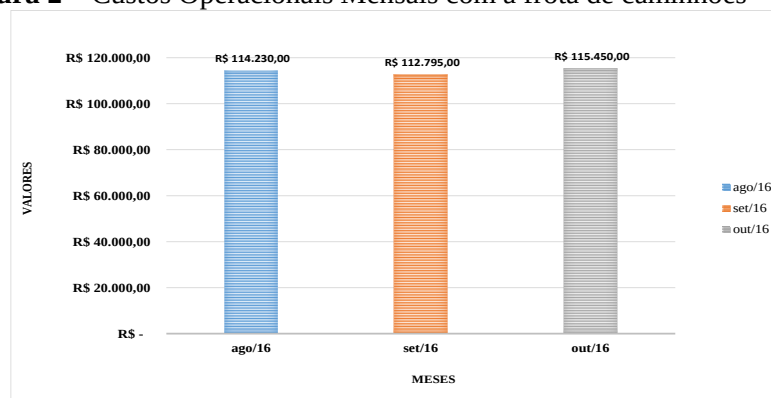
Fonte: Dados fornecidos pela empresa

Como informado anteriormente este item representa a maior parte dos custos com os equipamentos, por isso ele foi definido como restrição da modelagem. Para este gasto a empresa definiu um consumo máximo (em litros) de 20.000 L por mês para atender o contrato em questão é manter a margem de lucro desejada.

3.3.4 Custos Operacionais mensais

Para efeito de comparação pós implantação da solução encontrada na Pesquisa Operacional, foi obtido junto a empresa os custos operacionais totais, com relação a frota de caminhões, dos meses de: agosto 2016, setembro 2016 e outubro 2016, como informado na **Figura 2**. Estes custos foram obtidos através dos itens mencionados na **Tabela 2** deste artigo.

Figura 2 – Custos Operacionais Mensais com a frota de caminhões



Fonte: dados fornecidos pela empresa.

3.4 Modelo Matemático

Com os dados obtidos junto a empresa foi possível construir um modelo matemático com objetivo de solucionar a problemática proposta – ou seja – obter o menor custo operacional na prestação de serviços com caminhões basculantes, através do melhor mix de modelos e quantidade destes equipamentos.

Foi elaborado a função objetiva (1) que tem como meta minimizar os custos de operação. Os coeficientes foram denominados de acordo com o valor dos custos médios mensais de cada modelo de caminhão, expressos em reais de acordo com a **Tabela 2** deste artigo.

$$\text{Minimizar } Z = 9.928 X_1 + 8.307 X_2 + 4.771 X_3 \quad (1)$$

As restrições ficaram da seguinte maneira:

Na inequação (2) está representada a restrição sobre a quantidade mínima de material em toneladas que deverá ser transportada pela empresa de **145.000 T / mês**, para não pagar multas contratuais. Os coeficientes foram definidos de acordo com as quantidades médias de material, em toneladas, que cada modelo de caminhão pode transportar por mês, conforme mencionado anteriormente.

$$14.664 X_1 + 11.856 X_2 + 5.616 X_3 \geq 145.000 \quad (2)$$

A inequação (3) foi elaborada devido a restrição imposta pela quantidade máxima de combustível que a empresa pretende gastar, por mês em litros, 20.000 L para manter sua margem de lucros. Os coeficientes foram definidos de acordo com o gasto médio de combustível em litros por mês para cada modelo de caminhão (conforme **Tabela 3**).

$$1.705,6 X_1 + 1.518,4 X_2 + 956,8 X_3 \leq 20.000 \quad (3)$$

Outra restrição imposta ao problema, expressa pela inequação (4), é com relação ao valor máximo de dinheiro disponível pela empresa para realizar manutenções nos caminhões, este montante não pode ultrapassar os R\$ 21.000,00 reais por mês. Os coeficientes desta restrição foram definidos de acordo com o gasto médio com manutenções de cada modelo de caminhões (conforme **Tabela 2**, item: manutenção).

$$2.000 X_1 + 1.500 X_2 + 800 X_3 \leq 21.000 \quad (4)$$

Há também a restrição da quantidade máxima de caminhões que podem ser utilizados por jornada de trabalho, devido ao número de motoristas disponíveis que é de 14, inequação (5)

$$X_1 + X_2 + X_3 \leq 14 \quad (5)$$

Quantidade existente de cada modelo de caminhão. Inequações (6), (7) e (8).

$$X_1 \leq 6 \quad (6)$$

$$X_2 \leq 7 \quad (7)$$

$$X_3 \leq 4 \quad (8)$$

Como se trata de quantidades de caminhões os valores das variáveis não poderão ser números fracionários, deverão ser inteiros, equação (9)

$$X_1 ; X_2 ; X_3 = \text{INTEIRO} \quad (9)$$

E por último a condição de não negatividade das variáveis, pois sem ela o Solver irá atribuir valores negativos as respostas, pois este seria o menor custo.

$$X_1, X_2 \text{ e } X_3 \geq 0 \quad (10)$$

Desta forma a modelagem do problema ficou da seguinte maneira:

Modelo Canônico

$$\text{Função Objetiva - Minimizar } Z = 9.928 X_1 + 8.307 X_2 + 4.771 X_3 \quad (1)$$

Sujeito as seguintes restrições técnicas:

$$14.664 X1 + 11.856 X2 + 5.616 X3 \geq 145.000 \quad (2)$$

$$1.705,6 X1 + 1.518,4 X2 + 956,8 X3 \leq 20.000 \quad (3)$$

$$2.000 X1 + 1.500 X2 + 800 X3 \leq 21.000 \quad (4)$$

$$X1 + X2 + X3 \leq 14 \quad (5)$$

$$X1 \leq 6 \quad (6)$$

$$X2 \leq 7 \quad (7)$$

$$X3 \leq 4 \quad (8)$$

$$X1 ; X2 ; X3 = \text{INTEIRO} \quad (9)$$

$$X1, X2 \text{ e } X3 \geq 0 \quad \text{restrição de não negatividade} \quad (10)$$

3.5 Resultados

3.5.1 Simulação no solver.

A partir da modelagem obtida foi elaborado uma planilha, para resolver o problema proposto, com emprego do Solver. Neste trabalho foi utilizado o Excel versão 2013 da Microsoft. O processamento foi realizada em um computador da marca Dell, modelo: Vostro 3250, processador Intel®, Core™, i7 – 6700 CPU @ 3,40 GHz com 8 Gigas de memória RAM.

O Solver gerou uma solução de minimização da função objetiva satisfazendo todas as restrições e condições da modelagem. A solução encontrada foi: Utilizar os 6 caminhões denominados de X1 que tem maior capacidade de carga – 23.5 T por viagens – e 5 caminhões do modelo X2 que transporta 19 T por viagens. O modelo X3, que transporta 9 T por viagens, obteve o resultado de zero, por esse motivo está solução é considerada como *solução ótima degenerada*. De acordo com Favéro (2013. p. 119), “pode-se identificar um caso com solução degenerada quando, em uma das soluções do método simplex, o valor de uma das variáveis básicas for nulo. Segundo Taha (2008), em termos práticos não há nada de alarmante ou errado em uma solução degenerada exceto um pequeno inconveniente teórico, denominado **ciclagem** ou **retorno cíclico** onde o algoritmo simplex pode entrar em *loop* infinito gerando as mesmas soluções básicas. Nesta situação a solução ótima nunca seria atingida, o que não foi o caso deste problema, pois o Solver conseguiu chegar a uma solução atendendo todos os critérios do modelo proposto.

Por tanto a simulação indicou um total de 11 caminhões em relação aos 14 anteriores que eram utilizados por dia de trabalho, reduzindo 3 caminhões e consequentemente 3 motoristas.

O valor da função objetiva da simulação ficou em R\$ - 101.103,00 em comparação com a média dos 3 meses analisados que era de R\$ - 114.158,33 – Vide **Figura 2**. Isso representa uma economia direta de R\$ - 13.055,33 / mês ou uma redução de custos da ordem de 11,44 % por mês.

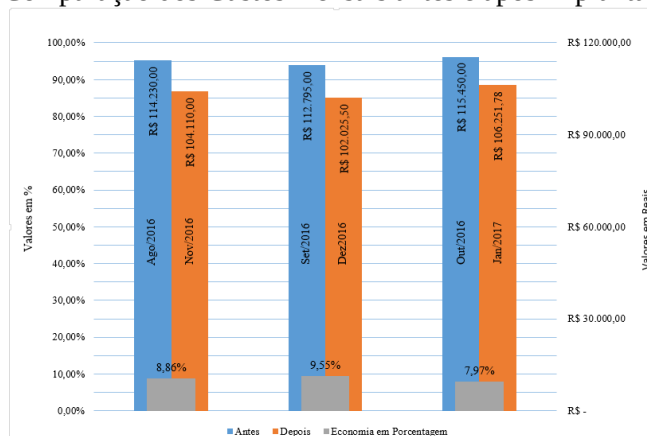
3.6 Teste prático da solução ótima obtida.

Com intuito de verificar as possibilidades da solução ótima encontrada, foi proposto para direção da empresa realizar um experimento prático de acordo com os resultados obtidos na simulação. Aproveitando a ocasião da necessidade da empresa em dar férias para alguns motorista e realizar reparos mais demorados nos caminhões do modelo X3, foi possível testar os resultados na prática e verificar sua eficácia. Para tanto sugerimos a empresa que adotasse a configuração de caminhões de acordo com encontrado na simulação de PO, que consiste em 6 caminhões do modelo X1 e 5 caminhões do modelo X2 e não utilizar nenhum dos caminhões

do modelo X3. Esta experiência ocorreu durante 3 meses, novembro 2016, dezembro 2016 e janeiro 2017.

Para efeito de análise e comparação com os outros meses, na **Figura 3**, foram levantados os custos totais com os caminhões – na nova configuração - conforme realizado anteriormente na **Figura 2**. É importante lembrar que os custos referente a mão de obra dos motoristas não foram computados por motivos de controle interno da empresa estudada que considera estes custos separados.

Figura 3 – Comparação dos Custos mensais antes e após implantação da solução de PO



Fonte: Dados Fornecidos pela empresa.

De acordo com observado na **figura 3**, foi possível obter uma economia média dos três meses de 8,79 % nos custos com a frota de caminhões, adotando o modelo proposto.

Nós três meses da implantação da solução foi possível economizar um total de R\$ - 30.087,72; em comparação com os outros períodos analisados, o que representa uma economia média de R\$ - 10.029,24 por mês.

4. Considerações Finais

O modelo desenvolvido neste trabalho, mostrou-se adequado para o objetivo proposto de minimizar os custos operacionais da empresa em questão. O teste prático realizado nos meses de novembro 2016, dezembro 2016 e janeiro 2017, comprovaram a real efetividade da solução ótima, obtida através de pesquisa operacional, gerando uma redução significativa dos custos (na média de 8,79% dos três meses analisados) com a frota de caminhões, isso representou uma economia de R\$ 30.087,72 em relação aos períodos anteriores, o que representa uma economia média de R\$ - 10.029,24 por mês.

Outro ponto importante a destacar é que os recursos empregados na prestação de serviço – mão de obra e caminhões – estavam dimensionados em excesso, pois dos 14 caminhões e motoristas contratados para atividade a solução obtida indicou que o trabalho poderia ser realizado com 11. Uma redução de 3 motoristas e 3 caminhões. Lembrando que os gastos com mão de obra não foram considerados neste trabalho, mas a viabilidade da redução do número de funcionários poderá aumentar ainda mais as vantagens do modelo proposto. Cabe a empresa realizar um estudo mais amplo com utilização de outras ferramentas de cálculos de capacidade e demanda de mão de obra para revisar o seu quadro de funcionários, o que não é o foco deste artigo.

O trabalho apresentado mostrou a importância da Pesquisa Operacional na tomada de decisões gerenciais embasada por métodos científicos que visam obter melhores resultados em seus

processos. O modelo aqui apresentado pode servir de guia ou referência para outras organizações de prestação de serviço com alocação de equipamentos e máquinas e ser ajustado e adaptado para realidade da mesma.

Para a empresa objeto do estudo, cabe realizar novas avaliações de viabilidade para manter a solução encontrada ou a possibilidade de reduzir a frota de caminhões eliminando o modelo X3 como indicado na solução obtida. Se for viável investir em outros tipos de caminhões realizando novas simulações para avaliar o melhor cenário.

5. Referências

- FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa Operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- GIANESI, Irineu G. N; CORREA, Henrique Luiz. - **Administração estratégica de serviços: operações para a satisfação do cliente**. 1. Ed. São Paulo. Atlas. 1994.
- GOMES JR, A.C.; SOUZA, M.J.F. **Solver (Excel): Manual de Referência**. UFOP, 2004.
- GURGEL, Floriano do Amaral. **Logística industrial** – São Paulo: Atlas 2000.
- HILLIER, Frederick S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- HILLIER, Frederick S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- LACHERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões: modelagem em Excel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007 - 4- Reimpressão.
- MOORE, Jeffrey H. E.; WEATHERFORD, Larry R. **Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas**. 6. ed. Porto alegre: Bookman, 2005.
- NOVAES, Antonio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição** – Rio de Janeiro: Elsevier, 2007 – 14ª reimpressão.
- OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de. **Administração de Processos – Conceitos Metodologia Práticas**. 2. Ed. São Paulo: Atlas 2007.
- OLSEN, Wendy. **Coleta de dados: debates e métodos fundamentais em pesquisa social** – Porto Alegre: Penso, 2015.
- SMAILES, Joanne. **Estatística aplicada à administração com Excel**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2014.
- TAHA, Hamdy A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. 8. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.