

Roteirização com estoque e janelas detempo em uma distribuidora de cosméticos

Inventory routing problem with time windows at a cosmetics distributor

DOI:10.34117/bjdv7n4-508

Recebimento dos originais: 04/02/2021

Aceitação para publicação: 01/03/2021

Diego Moah Lobato Tavares

Mestre em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica
Instituição: Universidade do Estado do Pará-UEPA
Endereço: Tv. Dr. Eneas Pinheiro, 2626 - Marco, Belém-PA
E-mail: moah6@hotmail.com

Felipe Barbosa Rodrigues

Especialista em Logística
Instituição: Faculdade Ideal - FA
Endereço: Travessa Tupinambás, 461 - Batista Campos, Belém - PA
E-mail: moah6@hotmail.com

Rivaldo Nazareno Costa Wanzeller Junior

Especialista em Logística
Instituição: Faculdade Ideal - FA
Endereço: Travessa Tupinambás, 461 - Batista Campos, Belém - PA
E-mail: rivaldowanzellerjunior@gmail.com

Afonso Cesar Lelis Brandao

Mestrado profissional em Engenharia de Materiais
Instituição: Faculdade Pan Amazônica
Endereço: Tv. Francisco Caldeira Castelo Branco, 1692 - Fátima, Belém - PA
E-mail: afonsolelis@gmail.com

RESUMO

O problema de roteirização com estoques ou inventory routing problem – irp, seu objetivo é minimizar os custos de transporte e estoques, tal problema geralmente é utilizado em um sistema de vendor managed inventory (vmi), no qual o fornecedor faz a entrega de produtos e faz o controle de estoque do cliente assumindo pra si os custos de estoque do cliente. Neste estudo abordou-se o irp com janelas de tempo para melhorar o nível de serviço de um sistema de vmi no qual as entregas aconteciam fora do horário previsto. A empresa estudada localiza-se na região metropolitana de Belém sendo uma distribuidora de cosméticos que atende ao mercado de pequeno a grande porte da região. O modelo aplicado se mostrou viável para empresa e resultou em um aumento dos custos totais da empresa em torno de 5 %.

Palavras-chaves: roteirização com estoques, janelas de tempo, VMI.

ABSTRACT

The inventory routing problem (irp) consists in minimizing transportation and inventory costs. Such problem is usually observed in a vendor managed inventory (vmi) system, in which the supplier delivers products as well as manages the inventory its customer and, thus, the inventory costs. In this study, the irp with time windows was studied to improve the service level of a vmi system, in which the deliveries occurred outside the scheduled time. The company studied is located in the metropolitan area of belém, being a distributor of cosmetics to small and large markets in the region. The applied model proved to be viable for the company and resulted in an increase of the its total costs in about 5%.

Keyword: inventory routing problem, time Windows, VMI

1 INTRODUÇÃO

As novas tendências do mercado atual (novos produtos, rápida defasagem etc.) geram muita incerteza sobre a demanda, isso gera elevação de custos na cadeia de suprimentos, principalmente em relação a custo de estoque. Em diversos caso tais problemas são causados pela ineficiência ou falta de troca e fluxo de informações. Um dos problemas mais estudado e conhecido pelas empresas é o Efeito Chicote, pela falta de informação e integração de fornecedores e clientes no qual o erro de previsão de demanda vai ser prolongando e aumentando ao longo da cadeia de suprimentos, gerando assim aumento de custo para todos da cadeia.

Para lidar com tais problemas muitos métodos de integração vêm sendo desenvolvidos, porém neste estudo abordou-se apenas um dos métodos da literatura o *Vendor Management Inventory* (VMI). Sistema já utilizado na empresa foco do estudo para a integração com seus clientes. Vários autores utilizaram tal sistema para propor soluções estratégicas e oferecer suporte a tomada de decisão, como por exemplo Vidović *et al.* (2014) que seu estudo aplicou um modelo matemático de roteirização com estoques ou *Inventory Routing Problem* (IRP) para otimizar um sistema de VMI.

A empresa onde este estudo foi realizado utilizou um modelo de IRP para otimizar seu sistema de VMI e definir políticas de reposição (vide o estudo de Moah *et al.*, 2017). O sistema de VMI implantando otimizou seus custos, porém gerou algumas insatisfações por parte dos clientes. Tais reclamações ocorreram por entregas realizadas fora do horário previamente acordado, destarte a necessidade de um modelo de IRP com janelas de tempo para considerar essa exigência dos clientes.

Utilizando o modelo de Coelho *et al.* (2012), realizou-se com alguns pequenos ajustes para que o modelo considera-se tais restrições de janela de tempo, como objetivo o deminimiza os custo de estoque e transporte, e aumentar o nível de serviço com o cumprimento das entregas dentro do horário acordado.

O artigo está estruturado da seguinte forma, no tópico 1 exibiu-se a introdução e contextualização do estudo como visto, no tópico 2 abordou-se a motivação para tal problemática, no tópico 3 falou-se sobre a metodologia utilizada para a solução do estudo, o tópico 4 contém o referencial teórico com os tópicos teóricos sobre o VMI e IRP, no tópico 5 fala-se sobre a empresa onde realizou-se o estudo, no tópico 6 mostrou-se as análises feitas e aos resultados, e por fim o tópico 7 contém as considerações finais deste estudo.

2 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Em busca de maior competitividade, as empresas buscam reduzir custos. Nesse contexto, para as organizações, os custos logísticos podem variar entre 4% e 30% do valor total das vendas (BALLOU, 2006). No Brasil, em relação à infraestrutura logística, deixa a desejar quando comparada à de outros países (SALGADO, 2013). Desse modo, propor estratégias eficazes tem sido um desafio (ou diferencial), uma vez que, para isso, torna-se importante identificar, claramente, informações sobre necessidades, especificidades, modais de transportes mais adequados, segmentos de mercado, clientes, fornecedores ou operação.

O Banco Mundial divulgou índice *Logistic Performance Index* (LPI), que faz um *ranking* internacional de desempenho do setor logística com base em um levantamento realizado em 160 países, com objetivo de aferir quão eficiente cada país, permitindo assim uma comparação do desempenho logísticos dos países, o Brasil ficou na posição 55°. O LPI é formado por 6 indicadores: Desembarço Aduaneiro; Infraestrutura nacional; Embarque internacional; Serviços Logísticos internos; Monitoramento e rastreamento; Pontualidade das operações. Esses indicadores são avaliados nos aspectos de eficiência qualidade e outros. O índice tem uma escala de zero a cinco, a Figura 1 contém um mapa do mundo com as faixas de índices com os 160 países.

FIGURA 1 – Mapa-Múndi em relação ao índice *Logistic Performance Index*.

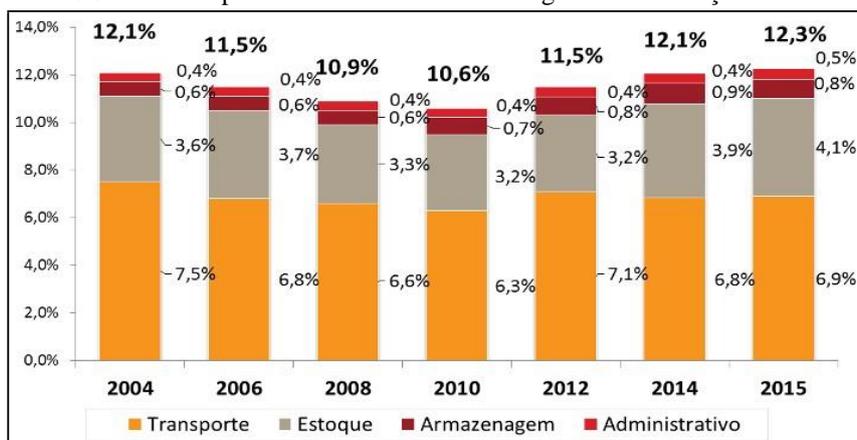


Fonte: Banco Mundial (2017).

Como mostrados nas figuras acima o Brasil ainda tem uma infraestrutura e desempenho logístico deficitário quando comparado a outros países, o que faz com que as empresas do Brasil percam em competitividade no aspecto logístico para empresas de outros países. Mostrando o porquê da importância de desenvolver estratégias e estudos na área.

O Instituto de Logística e *Supply Chain* (ILOS) realizou uma pesquisa que indicou que desde 2012 os custos logísticos no Brasil vem crescendo chegando a 2015 com um total de 12,3% do seu Produto Interno Bruto (PIB), enquanto que países desenvolvidos como os Estado Unidos gastaram 8,8% do PIB no mesmo ano. Na Figura 2, apresenta-se a divisão dos custos logísticos ao longo dos anos.

FIGURA 2 – Representatividade dos custos logísticos em relação ao PIB.



Fonte: ILOS (2017).

A presente pesquisa propõe um novo modelo matemático de IRP com janelas de tempo que visa atuar diretamente nos custos de transporte e estoques que são apontados pela Figura 2 como os mais representativos dos custos logísticos.

3 METODOLOGIA

Para a aplicação dos métodos matemáticos e realização da roteirização dos veículos, seguimos o mesmo procedimento de Moah *et al.* (2016) como descritos nos seguintes tópicos:

a) Coleta de dados: Este estudo fez uma coleta de dados com distâncias reais e obtendo informações da distância entre o centro de distribuição e a distância de cliente entre cliente. Os dados coletados foram relacionados a endereço do cliente, demanda do mesmo, entre outros dados. Sistema utilizado para tal etapa foi o aplicativo da Google, chamado *Google Maps Distance Matrix API*, a fim de ter uma coleta de dados mais realista.

b) Revisão dos modelos: Foi feito um estudo na área, para analisar o melhor modelo de roteirização de IRP a ser utilizado. Sendo assim foi realizada uma busca na base Scopus, para o melhor modelo a ser implantado referente a problemática deste estudo.

c) Seleção do melhor modelo: o modelo de Coelho *et al.* (2012a), foi utilizado como ponto de implementação, permitindo ajustes para a implementação das janelas de tempo.

d) Uso do modelo no software AIMMS: Com o objetivo de examinar as coerências dos resultados, realizou-se testes com as instâncias do autor Coelho *et al.* (2012a) usando o software de otimização AIMMS.

e) Analisando resultados: Foi feita uma análise de comparação de resultados com o modelo com e sem janelas de tempo.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 VENDOR MANAGEMENT INVENTORY (VMI)

Ao implantar o VMI gera-se um aumento na qualidade no nível de serviço, reduzem-se os níveis de estoques e também diminui os custos dos processos logísticos, apesar dos custos gerados durante e após a implantação do VMI o cliente acaba sendo fidelizado por conta da alta qualidade de nível de serviço e confiança ao fornecedor (TANG, 2006).

Visto que o cliente faz o acompanhamento do procedimento logístico, mas não o controla, o VMI traz uma redução a incerteza da demanda e no “efeito chicote”, dando ao cliente certa segurança, pelo sistema ser tão eficaz (BANI-ASADI e ZANJANI, 2017).

Guimarães *et al.* (2015), diz que o VMI é visto como criador de benefícios mútuos tanto para o cliente quanto para o fornecedor, sendo que o fornecedor se aproveita mais da situação pelo fato de ter o controle do processo, se beneficiando no processo de distribuição da mercadoria, com o intuito de redução de erros e aumentar a qualidade da entrega.

4.2 INVENTORY ROUTING PROBLEM (IRP)

O IRP tem o objetivo de minimizar os custos de distribuição e de estoque, sendo que simultaneamente as restrições sejam satisfeitas, como as referentes a capacidade de veículo e de armazenagem das instalações etc. (GUEMRI *et al.*, 2016).

O IRP engloba três decisões, quando atender cada cliente? Quando entregar a mercadoria para cada cliente? Qual o melhor roteiro de entrega? Onde o mesmo inclui vários elementos para a classificação do problema sendo que não seja uma tarefa simples (ZNAMENSKY *et al.* 2003, *apud* BELFIORE *et al.*, 2005).

A formulação do IRP é dada desta forma: $G = (V, E)$ sendo um grafo completado e não-orientado, fazendo com que o conjunto de arcos e o conjunto de vértices são decididos pelo $E = \{(i, j) \in V, i \neq j\}$ e $V = \{0, \dots, n\}$. Os seguintes arcos $(i, j) \in V$ tem-se um custo de

$c_{ij} > 0$. O D que é um vértice pertencente a V , é designado como o centro de distribuição (CD), sendo $C = V \setminus D$ é representado pelos clientes. Considerando a tomada decisão de um ponto de vista $T = \{0, \dots, p\}$, no caso do problema. Tendo um custo de manutenção de estoque

de h_i , com uma capacidade de nível de estoque de C_i , e o cliente i que demanda d_i^t , sendo

$\forall t \in T$, com a capacidade de estoque no CD designado como C_D . No cliente com o estoque inicial marcado por $I_i^0, \forall i \in V$, pode ser feito com o instante de $t = 0$. Tendo como consideração que o Centro de Distribuição tenha uma estoque preciso para os produtos e para atender a demanda desejada pelo clientes ao longo de T , sendo que o CD tem que escolher qual será o período t para atender a demanda do cliente i com a quantidade Q_{ik}^t . Sabendo que tem-se uma frota heterogênea com uma quantidade de k

veículos, sendo $K=\{1, \dots, k\}$, com a disponibilidade de capacidade Q_k . Para a satisfação de roteiro é dado um custo associado a mão de obra usada, chamado de CT_{ij} . Feita a visita em uma certa quantidade de clientes, em uma única rota cada veículo k faz em cada período t . Abaixo serão descritas os conjuntos, parâmetros e variáveis utilizadas:

TABELA 1 – Conjuntos e índices do Modelo.

<u>Conjuntos</u>	<u>Índices</u>
Clientes	c
CD	d
Nós (N)	i, j
Veículos	K
<u>Períodos</u>	<u>T</u>

Fonte: Autor. (2017).

TABELA 2 – Parâmetros do Modelo.

Parâmetros	Descrição
h_i	Custo de estoque por unidade do cliente i
c_{ij}	Custo da aresta i, j
d_i^t	Demanda do cliente i no período t
C_c	Capacidade de armazenagem do cliente c
CT_{ij}	Custo associado a mão de obra usada
Q_k	Capacidade de transporte do veículo k
TC	Tempo total de operação da empresa por dia
TD_{ij}	Tempo de deslocamento da aresta i para j
TA_{ij}	Tempo de atendimento do cliente i
B_i	Janela de tempo Inferior do cliente i
A_i	Janela e tempo Superior do cliente i

Fonte: Autor. (2017).

TABELA 3 – Variáveis do Modelo.

Variáveis	Descrição	Domínio
x_{ij}^{kt}	1 se o arco (i, j) é percorrido no período t pelo veículo k senão 0	{0;1}
y_i^{kt}	1 se o cliente i for visitado pelo veículo k no período t e 0 caso contrário	{0;1}
I_i^t	Nível de estoque do cliente i no final do período t	Z^+
q_i^{kt}	Quantidade transportada para o cliente i no período t pelo veículo k	Z^+
r^t	Decisão de compra de itens para ressuprimeto do CD	Z^+
S_i^{kt}	Hora de chegada em cada Cliente i	Z^+

Fonte: Autor. (2017).

Com base no modelo de IRP de Coelho *et al.* (2012a) realizou-se ajustes e a adição de restrições que satisfizessem o cumprimento das janelas de tempo de cada cliente e o tempo de ciclo diário dos roteiros de entrega descrito abaixo:

$$Min \sum_{t \in T} I_D^t h_D + \sum_{i \in C} \sum_{t \in T} I_i^t h_i + \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} x_{ij}^{kt} (C_{ij} + CT_i) \quad 1)$$

A Função (1) tem objetivo de minimizar os custos de estoques do CD, o custo de estoques do cliente e o custo total de transporte.

Sujeito a:

$$I_D^t = I_D^{t-1} + r^t - \sum_{i \in C} \sum_{k \in K} q_i^{kt} \quad \forall t \in T \quad (2)$$

$$I_i^t = -d_i^t + I_i^{t-1} + \sum_k q_i^{kt} \quad \forall i \in C, t \in T \quad (3)$$

As equações (2) e (3) fazem o balanceamento dos estoques dos clientes e CD, e garantem o atendimento da demanda i no período t.

$$I_i^t \leq C_i \quad \forall i \in C, t \in T \quad (4)$$

$$\forall i \in C, t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K} q_i^{kt} \leq C_i - I_i^{t-1}$$

As inequações (4) e (5) asseguram que a quantidade entregue ao cliente i no período t não ultrapasse sua capacidade disponível.

$$\sum_{i \in C} q_i^{kt} \leq Q_k \quad \forall t \in T, k \in K \quad (6)$$

A inequação (6) garante que o total transportado pelo veículo k não exceda sua própria capacidade.

$$q_i^{kt} \leq y_i^{kt} C_i \quad \forall i \in C, t \in T, k \quad (7)$$

A inequação (7) decide quais clientes serão visitados no período t .

$$\sum_{j \in C} x_{ij}^{kt} = \sum_{j \in C} x_{ji}^{kt} \quad \forall i \in C, t \in T, k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{j \in C} x_{ji}^{kt} = y_i^{kt} \quad \forall i \in C, t \in T, k \in K \quad (9)$$

As equações (8) e (9) garantem a continuidade de fluxo dos veículos.

$$\sum_{j \in C} x_{Dj}^{kt} \leq 1 \quad \forall k \in K, t \in T \quad (10)$$

A restrição (10) certifica-se que todos os veículos saiam do CD.

$$\sum_{k \in K} y_i^{kt} \leq 1 \quad \forall i \in C, t \in T \quad (11)$$

Em (11), assegura-se que cada cliente seja visitado por apenas um veículo em t .

$$S_i^{kt} - S_j^{kt} + x_{ij}^{kt} (TD_{ij} + TA_i + B_i - A_j) \leq B_i - A_j \quad \forall i, j \in C, k \in K, t \in T \quad (12)$$

$$y_i^{kt} B_i \leq S_i^{kt} \leq y_i^{kt} A_i \quad \forall i \in C, t \in T, k \in K \quad (13)$$

As restrições (12) e (13) asseguram a não ocorrência de subciclos e as entregas dentro da janela de tempo de cada cliente.

$$\sum_{i=d}^N \sum_{j=1}^{N+1} x_{ij}^{kt} (TD_{ij} + TA_{i_i}) \leq y_i^{kt} TC \quad (14)$$

$$\forall k \in K, t \in T$$

A restrição (14) determina que o tempo de ciclo do veículo k não seja excedido

5 ESTUDO DE CASO

A empresa tem como serviço de distribuição de produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, começando no mercado no ano de 1994, a empresa hoje se encontra como serviço de distribuição e varejo, nos estados do Pará, Amazonas, Maranhão, Amapá, Roraima e Rondônia, com filiais nos estados Pará e Amazonas. Este estudo foi feito no estado do Pará, com própria frota nas cidades de Ananindeua, Marituba e Belém, utilizando aterceirização para outros lugares do estado.

A situação atual da empresa em relação da área da logística, tem como responsabilidade a negociação com o fornecedores, depois vem a entrada dos produtos e em seguida a separação dos pedidos e a entrega ao cliente final. Com um grande números de clientes, pela quantidade de 150 clientes, sendo que 8 fazem parte de 60% da demanda atual, informado que dos oitos seis estão localizados em Belém e os outros dois em Ananindeua, tendo como o total da receita de desses oito clientes de R\$ 170.000,00 por mês na empresa.

A empresa tem uma frota de quatro veículos, nomeados de Veículo 1, Veículo 2, Veículo 3 e Veículo 4, com suas respectivas capacidades iguais a: 1196; 797; 797; 191, unidades de produto, com a quantidade de consumo por litro de cada frota relacionada de 6, 13, 13 e 8 quilômetros. Obtendo informações da quantidade do produto a ser transportada para cada veículo, foi feito uma composição de cada Veículo, o Veículo 01 terá um motorista e dois ajudantes, o Veículo 02 e 03 terão um motorista e um ajudante e por fim o Veículo 04 terá um motorista. Este estudo faz uma comparação entre o Modelo de IRP sem janelas de tempo aplicado na empresa e com janelas de tempo (proposta do trabalho).

Tendo como o objetivo de aumentar o nível de qualidade de serviço aos clientes, a empresa tem o intuito de implantar o modelo com janelas de tempo para melhorar o seu sistema VMI, haja vista que algumas entregas tem sido realizadas fora

da janela de tempo, causando reclamações e insatisfação por parte dos clientes. A Figura 3 abaixo contém um mapa do CD com os clientes da empresa.

FIGURA 3 – Mapa de clientes.



Fonte: Moah *et al.* (2017).

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Utilizou-se um computador que possui um processador Intel Core i3 1.7GHz e 4GB de memória RAM, o qual possuía a plataforma Windows 10. Para validar as soluções do problema, utilizou-se a ferramenta *Math Inspector* do AIMMS, a qual possibilita inspecionar os valores de todas as variáveis utilizadas nos modelos. Através das variáveis x_{ijk}^t com valor igual a um, ou seja, o cliente j é atendido após o cliente i pelo veículo k , no período t e sem a ocorrência de subciclos e todas as rotas iniciando e terminado no depósito, pode ser identificada a rota que cada veículo deverá realizar. Para este problema, o AIMMS gerou um modelo de programação linear inteira com as seguintes características. Números de variáveis: 1577 sendo 1280 inteiras; O número de restrições geradas foram 2101. O solver utilizado pelo AIMMS foi o CPLEX 12.6. A solução encontrada foi a ótima.

Na comparação entre os roteiros gerados por cada modelo observou-se cronogramas de entregas diferentes. O modelo de IRP com janelas de tempo gerou roteiros totalmente diferente do modelo de IRP inicial sem janelas de tempo. Outra mudança foram os estoques de alguns clientes que assumiram valores diferentes. Em relação ao tempo de execução ambos foram similares, mas o modelo com janelas de

tempo demorou mas para encontrar o ótimo. Nas Tabelas de 4 a 7 constam os roteiros, estoques, tempos de execução e custos totais gerados por cada modelo.

TABELA 4 – Roteiros do modelo sem janelas de tempo

Períodos	Roteiros			
	Veículo 1	Veículo 2	Veículo 3	Veículo 4
1	-	-	-	-
2	-	0-6-1-2-8-0	0-5-7-4-3-0	-
3	-	0-5-7-4-3-0	0-6-1-2-8-0	-
4	-	0-6-1-2-8-0	0-5-7-4-3-0	-

Fonte: Autor. (2017).

TABELA 5 – Roteiros do modelo sem janelas de tempo.

Períodos	Roteiros			
	Veículo 1	Veículo 2	Veículo 3	Veículo 4
1	-	-	-	0-7-5-0
2	0-6-1-0	0-3-4-0	0-8-2-0	0-5-0
3	0-7-5-0	0-6-2-0	0-3-4-0	0-1-0
4	0-6-1-0	0-3-4-0	0-8-2-0	0-5-0

Fonte: Autor. (2017).

O modelo com Janelas de tempos utilizou toda a capacidade da frota para atender as demandas de entregas o que acarretou em maior custo de transporte, porém toda a demanda seria atendida dentro da janela de tempo com sucesso alcançando os objetivos do modelo e se mostrando totalmente viável, o que era uma dúvida para a empresa. Em função de algumas janelas de tempo coincidirem o modelo não gerou mais do que dois clientes visitados por roteiro.

TABELA 6 – Estoques por modelo.

Modelo	Sem janela de tempo				Com Janela de tempo			
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_1	I_2	I_3	I_4
0	2791	1284	-	-	2701	1143	-	-
1	-	-	-	-	-	55	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	37	-	37	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	45	-	45	-
8	-	-	-	-	-	115	-	-

Fonte: Autor. (2017).

O modelo com janelas de tempo ocasionaram menores estoques no CD, porém maiores estoques no clientes, como neste caso em questão o custo de manter em estoque no cliente é maior do que no CD, está variação do modelo também gerou maiores custos de estoques.

TABELA 7 – Estoques por modelo.

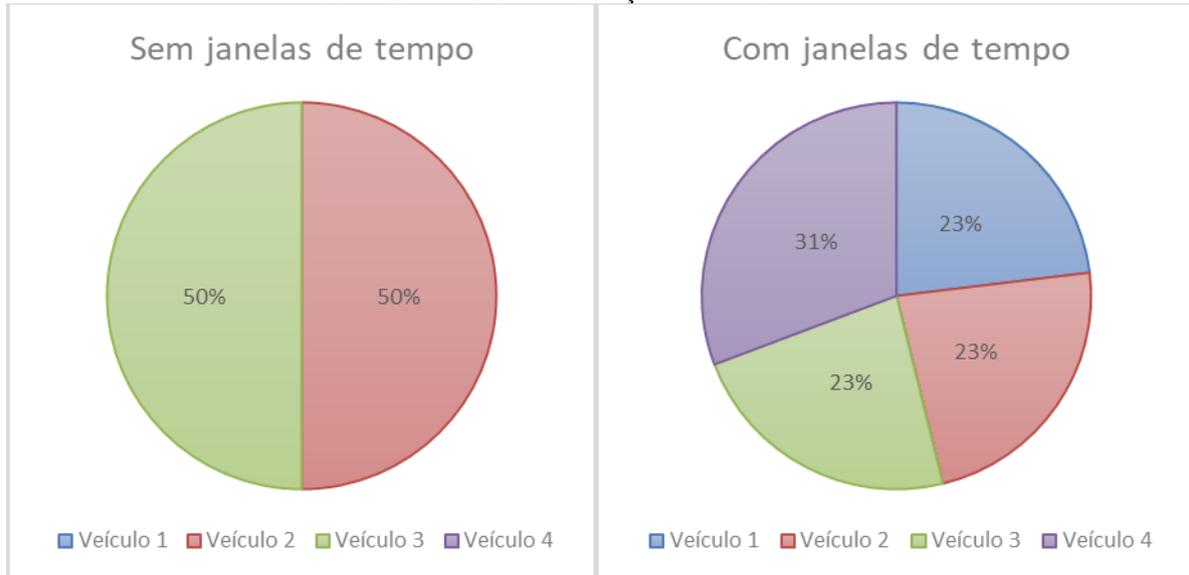
Modelos	Custo totais	Tempo de execução
IRP	R\$ 13.805	32877,24s
IRP com jan. de tempo	R\$ 14.512	36546,27s

Fonte: Autor. (2017).

Como já era de se esperar o modelo com janelas de tempo teve um custo total maior que o modelo sem janelas de tempo em um total de R\$ 707,00, uma diferença de 5,12% do custo total anterior. Em relação aos tempos de execução dos modelos no AIMMS os tempos foram aproximados com uma diferença aproximadamente de uma hora, sendo o de janelas de tempo o mais demorado com um valor aproximado de 10 horas e 8 minutos.

Como dito anteriormente ambos modelos utilizaram de forma diferente os veículos da frota. O modelo com janelas de tempo utilizou todos os veículos e o modelo sem janelas de tempo os veículos 2 e 3. A taxa total de utilização dos veículos pode ser visualizada na Figura 4 abaixo:

FIGURA 4 – Taxa de utilização de veículo.



Fonte: Autores (2017).

7 CONCLUSÃO

Este estudo propôs um modelo de IRP com janelas de tempos visando melhorar o nível de serviço de um sistema de VMI utilizado por distribuidora de cosméticos e seus oito clientes mais relevantes. Para tal sistema inicialmente havia se utilizado um modelo de IRP sem janelas de tempo que a princípio satisfez a empresa, porém posteriormente algumas entregas ocorriam fora do horário previsto, o que originou a necessidade de um modelo considerando tais restrições. Considerou-se os dados de custos reais de estoques e transportes da empresa e distâncias reais de rotas.

O novo modelo utilizou de maneira diferente a frota e alterou todas as rotas do modelo anterior ocasionando em maior custo de transporte de entregas e estoques de cada clientes, porém atendendo a todos dentro de suas respectivas janelas de tempo, desta forma se o modelo for utilizado este aumentará a satisfação do cliente assim como o aumento o nível serviço da empresa.

Implementou-se com sucesso o modelo de IRP com janelas de tempo alterando algumas restrições para tal. Tais problemas são de Programação Linear Inteira. O software de modelagem matemática utilizado foi o AIMMS e otimizador CPLEX 12.6.

Nos resultados existe um *trade-off* entre a escolha de custo e nível de serviço haja vista que o novo modelo proposto juntamente com o aumento de nível de serviço causa o aumento tanto do custo de estoque como o custo de transporte. Destarte cabe a empresa decidir o que seria mais interessante aplicar. Considerando que o aumento

dos custos foi relativamente pequeno (em torno de 5%) acredita-se que o modelo em questão será adotado brevemente.

Algumas possíveis extensões desse estudo poderiam ser: i) adição de transbordo; ii) um modelo de IRP que considera os clientes do sistema de VMI assim como outros clientes da empresa que não estão incluídos no sistema; iii) elaboração de uma heurística para a resolução do problema com instâncias maiores.

REFERÊNCIAS

- BALLOU, Ronald H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial*. 5ªed.Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BANI-ASADI, H., e Zanjani, H. J. Vendor managed inventory in multi level supply chain. *Decision Science Letters*. 6 (2017) 67–76, 2017.
- BELFIORE, Patricia Prado. *Problema de Estoque e Roteirização com Demanda Determinística e Estocástica: Revisão da Literatura*. São Paulo: SIMPEP, 2005.
- COELHO, L. C., Cordeau J-F., Laporte, G. Consistency in multivehicle inventory-routing. *Transportation Res. Part C: Emerging Tech*. 24(1):270–287, 2012a.
- COELHO, L.C., CORDEAU J-F, LAPORTE, G. *Dynamic and stochastic inventory-routing*. Technical report, CIRRELT-2012- 37, Montreal, Canada, 2012b.
- COELHO, L. C., CORDEAU, J-F., LAPORTE, G. The inventory routing problem with transshipment. *Comput. Oper. Res*. 39(11): 2537–2548. 2012c.
- GUIMARÃES, T., SCARPIN, C., STEINER, M. T. Políticas de distribuição com lote econômico de entrega em problemas de roteirização com estoque gerenciado pelo fornecedor sistema logístico em três níveis. *Gestão da Produção*. 22 (1) 133-148, 2015.
- GUEMRI, O., BEKRAR, A., BELDJILALI, B., TRENTESAUX, D. GRASP-based heuristic algorithm for the multi-product multi-vehicle inventory routing problem. *4OR-Q J Oper Res*, v.14 p. 377-404, 2016.
- INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN (ILOS). Custos logísticos no Brasil. 2014. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/analise-de-mercado/relatorios-de-pesquisa/custos-logisticos-no-brasil/>>. Acesso em: 04 jun. 2017.
- MOAH, D., DOS SANTOS, T. R. A., HAMACHER, S., RODRIGUES, F. B. *Roteirização de veículos em uma distribuidora de cosméticos atuante na região metropolitana de Belém*. In Anais do XIII SIMPEP, P.1-14, Bauru-SP, 2016.
- MOAH, D., MARTINELLI, R., REPOLHO, H., RODRIGUES, F. B. *Roteirização com estoque em uma distribuidora de cosméticos atuante na região metropolitana de Belém*. In Anais do XLVIV SBPO, prelo, 2017.
- PIRES, S. R. I. *Gestão da Cadeia de Suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos-Supply chain management*. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- SALGADO, T. T. *Logística Prática, Técnicas e Processos De Melhorias*. Rio de Janeiro:Senac Nacional, 2013.

TANG, C. Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*. (103) 451-488, 2006.

VIDOVIĆ M., POPOVIĆ D., RATKOVIĆ B. Mixed integer and heuristics model for the inventory routing problem in fuel delivery. *Int. J. Production Economics*. (147) 593–604, 2014.

WORLD BANK. Connecting to compete: trade logistics in the global economy 2016. <http://lpi.worldbank.org/international/scorecard/radar/254/C/BRA/2016/C/USA/2007/C/CHN/2007/C/CAN/2007>, 2017.