



**MODELO DE ROTEIRIZAÇÃO: ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE
MELHORIAS NO PROBLEMA DE COMPOSIÇÃO DE CARGAS**

Caroline Gaertner Martins

UERJ - martinscaroline@rocketmail.com

Vanessa de Souza Soares

UERJ - nessa-souza@hotmail.com

Thaís Spiegel

UERJ - thaispiegel@gmail.com

O presente artigo refere-se ao corpo de conhecimento da logística, e aborda em particular o problema de composição de cargas. Como estudo de caso, trata do problema em um centro de distribuição de uma empresa cimenteira. O problema consiste basicamente em definir quais os melhores agrupamentos de carga possíveis a fim de reduzir o custo com o frete pago aos transportadores que farão as entregas. O método de solução proposto foi o da aplicação de um modelo matemático de composição de cargas baseado na modelagem de problemas de bin-packing. Para tal, foram coletadas diversas informações ao longo desse estudo e com base na adaptação de modelos de programação não linear presentes na literatura, foi possível a elaboração do modelo com o intuito de minimizar os custos do frete nas operações de agrupamento de cargas. O modelo foi programado com dados reais da empresa a fim de comparar as alocações reais com as propostas através da modelagem e verificar a eficácia do modelo. Os resultados apontaram que os pedidos puderam ser agrupados em um número menor de veículos e conseqüentemente o custo do frete sofreu uma redução, o que comprovaria a eficácia do modelo e o uso correto desse tipo de programação para a resolução do problema encontrado.

Palavras-chave: modelo de roteirização: análise e proposição de melhorias no problema de composição de cargas

1. Introdução

A indústria cimenteira requer grandes investimentos e está sujeita a grandes pressões por baixos custos. O cimento é uma *commodity* de baixa substituíbilidade, presente em praticamente todo o tipo de obra, e por ser um produto de baixa relação preço / peso, na distribuição, é bastante onerado pelo frete, além de sofrer com o impacto dos aumentos nos preços de combustível e outros derivados de petróleo.

O modal de transporte mais utilizado na distribuição do cimento, no Brasil, é o rodoviário, que em 2011, foi responsável por movimentar 96% de todo o cimento produzido no país. O sistema ferroviário, ainda é pouco utilizado no transporte desse produto, representando cerca de 3% do tipo de transporte utilizado, restando apenas 1% para o modal hidroviário (SNIC, 2012).



A embalagem mais utilizada para distribuição do cimento é o saco de 50 Kg, que tem participação em 68% de todo o cimento despachado do país, devido ao fato de 2/3 de todo o cimento produzido ser distribuído através da cadeia de revenda. No cenário atual, tornou-se usual o agrupamento de vários pedidos no mesmo veículo no momento de efetuar as entregas aos clientes, tendo como foco a minimização dos custos com o frete, que como veremos ao longo desse artigo representa para uma empresa o elemento mais importante em termos de custos logísticos.

Esse artigo refere-se ao corpo teórico de logística, e do ponto de vista aplicado tem por objetivo estudar e propor melhorias ao problema de composição de cargas de um Centro de Distribuição (CD) de uma grande multinacional atuante no mercado cimenteiro, fazendo uso dos conceitos de pesquisa operacional.

Este objetivo se estruturou a partir da necessidade da empresa em ter uma ferramenta que auxiliasse no processo de decisão dos cruzamentos de carga para entrega direta, afim de, minimizar os erros bem como encontrar combinações ótimas para este processo decisório, reduzindo assim os custos do transporte. Na tentativa de demonstrar a possibilidade de redução de tais custos, nas operações onde há a necessidade de se agrupar cargas, será proposto um encaminhamento de solução através da construção de um modelo matemático com base na análise e adaptação de modelos de programação não linear, que se propõe a resolver esse tipo de problema.

2. Método da pesquisa

O método científico será composto a partir de mais de uma abordagem. Neste projeto a abordagem utilizada será a quantitativa, ou seja, quando uma pesquisa parte de condições existentes e por meio de dados coletados e posteriormente estruturados busca explicar resultados para a análise dedutiva realizada no início da pesquisa.

O método de pesquisa adotado foi o Estudo de Caso. Um estudo de caso é mais indicado para aumentar a compreensão de um fenômeno. Yin (2001 *apud* Cesar, 2005) discute que a adoção do Método do Estudo de Caso é adequada quando são propostas questões de pesquisa do tipo “como” e “por que”. O caso, o objeto de análise do estudo em questão, é a organização, e a situação é o estudo desse único caso.

A seguir são detalhadas as etapas que foram desenvolvidas para alcançar o objetivo traçado para este trabalho. Stuart *et al.* (2002) propõe uma perspectiva de processo para um estudo de caso eficaz composto pelas seguintes etapas:

1. Definição da questão de pesquisa: O primeiro passo desta etapa foi caracterizar o problema encontrado na empresa estudada. Através de visitas ao Centro de Distribuição e conversas com os gestores e a equipe de logística, pôde ser feita uma análise da realidade da empresa assim como uma visão geral da situação. A intenção dessa análise foi encontrar o problema mais significativo do local e traçar um meio para possíveis melhorias. Tendo sido a ineficácia do processo decisório de composição de cargas o problema encontrado, o próximo passo foi descrevê-lo.

2. Instrumento de desenvolvimento: Depois de descrito o problema, foi feita uma análise minuciosa da literatura com o intuito de encontrar métodos para uma possível solução. A solução mais adequada, encontrada durante esta etapa, foi a de modelar o problema encontrado através da Pesquisa Operacional. Para tal, foi feita uma análise



comparativa entre alguns modelos já propostos em outros trabalhos a fim de solucionar problemas deste tipo.

3. Coleta dos Dados: Ao passo que o problema e o método de solução foram encontrados, o passo seguinte foi coletar dados de entrada para o modelo. A partir do objetivo, os parâmetros e as restrições conhecidos, o modelo escolhido pôde ser adaptado ao caso e assim estruturado.

4. Análise dos dados: Após adaptação do modelo, testes foram realizados através do programa “*What's Best*” na própria empresa e os resultados foram coletados.

5. Disseminar: Com os dados coletados durante os testes, foi feita uma comparação entre a forma atual de agrupar as cargas e a forma proposta de agrupar as cargas a partir do modelo adotado, demonstrando assim sua eficiência.

3. Revisão da literatura

O presente capítulo visa apresentar os conceitos teóricos que embasaram o projeto. As informações expostas aqui são relevantes para o entendimento do artigo como um todo, e pertinentes para o entendimento do problema estudado. Foram baseadas em livros e trabalhos similares encontrados nas principais bases científicas brasileiras.

3.1. Transportes

Segundo Ballou (2006), a movimentação de cargas representa para uma empresa o elemento mais importante em termos de custos logísticos. O sistema de transporte consegue fazer com que a extensão do mercado se apresente ilimitada, fazendo com que regiões distantes do ponto da produção recebam por produtos necessários. Contudo, com o aumento da tecnologia, é possível notar o crescente número de pontos de produção o que faz aumentar a concorrência.

Uma maneira de se destacar em meio a diversas opções é aumentar o desempenho de transporte. Com um alto nível de planejamento, é possível oferecer um transporte barato e de alta qualidade capaz de realizar entregas no tempo acordado com um número reduzido de perdas. Para transportar cargas de um ponto a outro é preciso antes analisar a quantidade de pedidos, a capacidade dos veículos e as rotas a que o transporte terá que se submeter. Esse tópico irá tratar esses pontos: a importância do planejamento de transportes e os tipos de Sistemas de operação dos transportes que influenciam as decisões das empresas no momento do transporte.

O planejamento de transportes estuda como as demandas serão atendidas acerca das necessidades de se transportar cargas para a região que se quer atender. Através de estudos os sistemas de transportes existentes podem sofrer melhorias ou até mesmo novos sistemas podem ser implantados. O Planejamento de Transporte consiste na atividade que define a infraestrutura necessária para assegurar a circulação de pessoas e mercadorias e a organização dos sistemas de transporte que estão sujeitos à regulamentação pública, inclusive a tecnologia e o nível de serviço a ser ofertado (ANTP, 2004 *apud* Kneib, 2008).



Segundo Novaes (1989 *apud* ARAÚJO, 2010) existem dois sistemas de operação do transporte de cargas que influenciam na escolha do tamanho dos lotes, dos locais de origem e destino, dos custos e do nível de serviço a ser atingido. Esses sistemas são: Transferência direta e Distribuição via centro de triagem.

A transferência direta acontece quando um veículo deixa sua origem dirigindo-se para seu destino. O veículo deixa a origem com sua capacidade ocupada para assim evitar altos custos com mais de um tipo de viagem e evitar perda de capacidade veicular.

Já o segundo sistema, distribuição via centro de triagem, ocorre quando a capacidade do veículo não fora toda ocupada e há assim espaço vazio no veículo sendo possível o carregamento de outro pedido. Dessa forma é comum entregas serem feitas a diversos destinos com o mesmo veículo deixando uma única origem.

Segundo Pinto & Siqueira (2010), a cadeia de suprimentos busca sincronizar o reabastecimento de materiais e demanda fazendo com que os pedidos sofram uma redução no seu volume e se tornem mais frequentes. Essa redução no volume dos pedidos é responsável pelo aumento nos gastos com transportes. Considerando que esta mudança alterou o modo como as cargas são entregues, antes os veículos faziam as entregas com cargas completas e hoje é mais do que comum os ver com cargas fracionadas.

Tendo em vista o exposto, as empresas estão buscando em modelos matemáticos, soluções para programar a composição de suas cargas. O objetivo dessa busca é reduzir o custo do frete agrupando o máximo de cargas possíveis em um único veículo.

3.2. Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional (PO) é uma ferramenta usada nas empresas para alcançar seus objetivos ou resolver problemas através de programações de modelos matemáticos. É a maneira encontrada pelas empresas para tomar decisões através de aplicações de técnicas matemáticas (SOUZA & REHFELDT, 2011).

Uma empresa transportadora de mercadorias busca em um modelo de PO otimizar cada vez mais seus recursos, minimizar seus custos e maximizar seus lucros. Através do auxílio do modelo matemático a empresa sente segurança na tomada de certas decisões. A maneira como serão alocadas as mercadorias nos veículos, a rota que o veículo deverá percorrer e outros pontos podem ser conhecidos através da modelagem do problema.

Um problema pode ser modelado através de uma função objetivo e diversas restrições e a validação do modelo só será possível se a solução do modelo for condizente com a realidade. Quando uma modelagem é bem sucedida, ela gera resultados positivos e ganha a confiança daquele que tem uma decisão a tomar.

A função objetivo está ligada aos objetivos de maximizar ou minimizar, as restrições podem ser de tipos maior ou igual (\geq), igual ($=$) e menor ou igual (\leq) e as variáveis são positivas. Ao final da modelagem, é possível chegar-se a três tipos de soluções: (1) Solução ótima; (2) Solução próxima da ótima; (3) Não obter solução



viável e (4) Problemas ilimitados com soluções múltiplas.

Segundo Hiller & Lieberman (2010, p.34-35):

Uma solução ótima é uma solução viável que tem o valor mais favorável da função objetivo. O valor mais favorável é o maior valor se a função objetivo tiver de ser maximizada, ao passo que será o menor valor caso ela deva ser minimizada.

Uma solução viável é aquela para a qual todas as restrições são satisfeitas. A complexidade do modelo dependerá do número de variáveis e restrições que o problema apresenta. Quanto mais variáveis e restrições, mais complexo será programar o problema e vice-versa.

O Problema de Transporte, é um exemplo de problema que pode ser resolvido através da Pesquisa Operacional. Dados como disponibilidade de veículos, o custo de transporte de cada mercadoria, as quantidades de mercadorias disponíveis de cada centro de distribuição, as demandas de cada consumidor e as rotas a serem percorridas são conhecidas e tratadas como variáveis que constituem um sistema.

Transportar cargas de seus centros de origens até os destinos gera um custo, o chamado custo de distribuição, e esse custo pode ser calculado fazendo-se o produto entre o custo unitário de distribuição e o número de unidades distribuídas. O objetivo do problema de transporte é minimizar cada vez mais esse custo de distribuição ou maximizar o lucro ou a receita de modo que a oferta nunca deixe de atender a demanda.

3.3 Roteirização e Programação de Veículos

Segundo Novaes (2004 *apud* PINTO & SIQUEIRA, 2010), o termo roteirização vem sendo usado para designar o processo de determinação de um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento.

Para programar a entrega de mercadorias é preciso decidir, pensando em como diminuir o custo do frete, agrupar maiores quantidades de mercadorias em um único caminhão e pensar nas melhores rotas a fim de diminuir tempo e distância para se chegar aos clientes sem deixar de atender a demanda programada.

Novaes (2004 *apud* PINTO & SIQUEIRA, 2010) enfatiza os problemas de roteirização em três tipos:

(1) Problema de roteirização de veículos (VRP): O número de veículos que irá compor a frota é definido a priori e sua capacidade não varia. Nesse problema os custos fixos são aqueles disponibilizados na aquisição dos veículos da frota e os custos variáveis os que dependem da distância total percorrida. Toda decisão tomada nesse problema é voltada para a redução dos custos variáveis.

(2) Problema de determinação do tamanho da frota: Nesse problema, o número de veículos não será definido a priori, tendo conhecimento da demanda a ser cumprida é que a frota será montada. Nesse caso, tanto os custos fixos como os custos variáveis serão levados em conta. Deve-se admitir que os veículos possuem capacidades iguais.

(3) Problema de tamanho e composição da frota: Neste problema, o número de veículos que irá compor a frota continuará sendo definido no momento que for



conhecida a sua demanda, porém a forma como as mercadorias serão distribuídas nos veículos irá se modificar com a capacidade do veículo usado para o transporte.

4. Estudo de caso

4.1. Caracterização da Organização

A empresa estudada é uma multinacional atuante no mercado cimenteiro, com presença em mais de 70 países. No Brasil, a empresa possui fábricas e centros de distribuição (CD) estrategicamente alocadas em diversos estados das regiões Sudeste e Nordeste do país. Este estudo terá como foco o CD onde, na visão da organização, o processo de composição de cargas é mais crítico, localizado na cidade de Belo Horizonte – MG.

No CD estudado, o processo de entrega dos pedidos tem início com o recebimento dos mesmos pelo *Call Center*, o qual é fechado mediante a um acordo de data de entrega pré-estabelecida. Desse modo, os faturistas do departamento de logística tem acesso, pelo sistema, a todos os pedidos que necessitam ser entregues, podendo assim efetuar a alocação dos mesmos aos veículos (cruzamento de carga).

O transporte entre o CD e os clientes é feito de forma terceirizada por motoristas autônomos, com veículos de capacidades variadas entre 3,5 a 15 toneladas. A empresa já possui uma tabela de fretes em Reais por tonelada (R\$/ton) pré-estabelecida para os destinos a que atende, porém, o frete não é pago sobre o peso carregado e sim pela capacidade do veículo.

Além disso, os motoristas também recebem um “prêmio por entrega”, no caso do mesmo veículo realizar entrega em dois clientes diferentes no mesmo carregamento, será adicionado 5% ao valor do frete, se a entrega for em 3 clientes, será acrescido em 10% e no caso de quatro clientes (a quantidade máxima de clientes que podem ser atendidos por um mesmo veículo), 15%.

A empresa também trabalha com classificação de seus clientes (Diamante, Ouro, Prata e Bronze), fazendo com que haja uma escala de prioridade ao decidir quais pedidos serão entregues primeiro.

4.2. Definição do Problema Central

O CD em questão, atente a toda grande BH e trabalha com muitos agrupamentos de carga, que consiste em agrupar pedidos de diferentes clientes em um mesmo carregamento, formando assim uma carga composta. Para que estes pedidos possam ser agrupados, os mesmos devem pertencer ao mesmo grupo de rota, o que impede que clientes distantes tenham seus pedidos agrupados no mesmo carregamento.

Os grupos de rotas foram definidos pelo departamento comercial sem muitos estudos específicos, apenas uma divisão por CEP, e o agrupamento de pedidos não é feito com um método específico para formar o carregamento. Dessa forma, o grupo de rotas se torna não confiável, o que pode acarretar em agrupamentos de clientes distantes, além do fato das restrições de tráfego da região não serem consideradas. O



agrupamento dos pedidos é realizado de maneira manual baseado apenas nos conhecimentos do local pelos agenciadores de cargas. Qualquer erro por parte do agenciador de cargas e um veículo pode ser enviado a uma região restrita e ser impedido de efetuar a entrega.

Um dos principais complicadores para a tarefa de composição de cargas no CD são as restrições de tráfego impostas pela lei para a região central de Belo Horizonte. Nesta região, não é possível trafegar com veículos com peso acima de 5 toneladas (PORTARIA/DPR 138/200, 2013), o que inviabiliza o agrupamento dos pedidos para esta região com outros pedidos, mesmo que para locais próximos, o que nos remete a outra restrição: a quantidade de veículos disponíveis para realizar essas entregas.

Os veículos disponíveis variam em capacidades entre 3,5 a 15 toneladas, os veículos com capacidade de 3,5 toneladas são chamados de 3/4, e são essenciais para fazer entregas nessa região, tendo em vista que utilizar veículos de capacidades maiores para entrega de apenas um pedido incorre em prejuízos, visto que o frete é pago sobre a capacidade do mesmo e dessa forma haverá espaços ociosos nos veículos.

4.3. Análise da Literatura

O problema de roteirização da empresa estudada pode ser descrito como um problema de roteirização com janelas de tempo, fazendo-se necessário o acréscimo de uma penalidade, à função objetivo, no caso do não atendimento dos pedidos no prazo, de modo a forçar que o modelo aloque todos os pedidos possíveis. A empresa aceita uma violação no tempo de atendimento, ou seja, permite que pedidos sejam entregues dias depois do dia programado, devido a restrições de circulação do local e quantidade de veículos disponíveis que limitam a entrega, porém não é o ideal, tendo em vista que a empresa deseja manter uma boa relação com seus clientes não prejudicando o nível de serviço.

O problema também se enquadra no caso de roteirização de veículos abertos. Como as frotas usadas pela empresa para transportar os veículos são terceirizadas, os motoristas têm autonomia para decidir não voltar ao depósito depois de feita as entregas. Se enquadra também no caso de roteirização de veículos com múltiplo uso, quando os transportadores realizam uma entrega em menor tempo que sua jornada de trabalho, os mesmo retornam ao depósito para dar início a uma nova entrega.

Quando proposto resolver alguns problemas de roteirização de veículos, certos parâmetros são analisados para que seja possível identificar e compreender o problema em questão. Esses parâmetros são de grande ajuda no momento que o problema será modelado. Belfiore (2005 *apud* MIURA, 2008) propôs uma grande relação de parâmetros e a tabela a seguir foi adaptada para que fossem expostos apenas os parâmetros que representam da melhor forma o problema estudado.

TABELA 1 - Características do problema de roteirização.

Parâmetro	Tipos
Função objetivo	Minimizar os custos totais de distribuição.



Restrição dos veículos	Limite de capacidade dos veículos
	Número e tipo de veículos disponíveis;
Restrição dos clientes	Janelas de tempo dos clientes;
	Limite com relação ao tipo de carga ou tipo de veículo;
	Clientes prioritários;
	Atendimento total ou parcial das demandas;
Variáveis de decisão	Qual veículo é designado para cada cliente;
	Qual a quantidade de carga transportada para cada cliente da rota;
Tipo de operação	Entrega;
Tipo de carga	Múltiplas cargas ou cargas fracionadas.
Tipo de demanda	Determinística.
Localização da demanda	Demanda localizada somente em nós;
Tamanho da frota	Limitada;
Tipo de frota	Heterogênea.
Depósitos e localização de veículos	Um único depósito;
Horizonte de planejamento	Curto prazo;

Fonte: Adaptada de Belfiore (2005 *apud* MIURA, 2008)

Após análise dos problemas de roteirização e os parâmetros propostos por Belfiore, nos quais o problema estudado se enquadra, foi definido que o tipo ideal de modelagem para o problema seria um modelo de composição de cargas que tivesse por objetivo minimizar o custo com o frete. A partir dessa definição alguns modelos semelhantes encontrados na literatura foram analisados de forma comparativa ao caso estudado no intuito de criar uma modelagem adaptada que representasse de forma adequada a situação da empresa estudada.

4.4. Coleta e Tratamento dos Dados

Para auxiliar na elaboração do modelo, foram coletados dados reais de entrada através de *software* gerencial de importação de dados do sistema ERP da empresa.

O *software* de resolução de problemas de otimização escolhido para este estudo foi o *What's Best*, fabricado e distribuído pela empresa *Lindo System*, esse *software* permite a resolução de problemas lineares e não-lineares e sua escolha deve-se ao fato da empresa já fazer uso do *software* para resolução de outros modelos de otimização e pela sua facilidade de utilização, por se tratar de um suplemento do *Microsoft Excel*.

Durante a coleta dos dados, foram selecionados alguns pedidos e as informações



referentes aos mesmos, como peso, frete unitário e classificação do cliente atrelado ao pedido. A fim de respeitar as restrições de tráfego da região central de BH foi incluído um parâmetro de Peso Máximo de Agrupamento, que indica qual o peso máximo um veículo poderá carregar para que o mesmo possa atender a um determinado pedido. Como a capacidade máxima dos veículos que prestam serviço para a empresa é de 15 tons e a restrição de tráfego é de veículos até 5 tons, foi definido que clientes localizados na região central de BH teriam um peso Máximo de Agrupamento de 5 tons e os clientes de localidades não restritas teriam um Peso Máximo de Agrupamento de 15 tons.

No caso da Restrição que implica um atendimento prioritário aos clientes de acordo com sua classificação (Diamante, Ouro, Prata e Bronze), foi definido um custo de não entrega dos pedidos, que além de forçar o modelo a atender todos os pedidos possíveis, faz com que ele primeiramente aloque aqueles que possuem um custo maior de não atendimento, no caso, este custo varia de acordo com a classificação do mesmo.

Também foi necessário o levantamento da quantidade de veículos disponíveis e suas capacidades. A partir do conhecimento dos dados referentes ao problema, foi possível iniciar o processo de modelagem do mesmo, através da análise dos modelos encontrados na literatura e o auxílio dos *softwares Excel e What's Best*.

4.5. Construção do Modelo

Com o auxílio da ferramenta de otimização, pode-se ter uma visão antecipada da resposta do modelo a cada inclusão de restrição, a fim de testar a eficácia do mesmo durante todo o processo de elaboração. A seguir será detalhado como os dados foram organizados na ferramenta de forma a auxiliar na modelagem.

4.5.1. Parâmetros

Os parâmetros foram dispostos com base nos dados de entrada coletados na empresa estudada.

Onde,

K – Conjunto de Clientes a serem atendidos;

I – Conjunto de Pedidos a serem carregados;

P_i – Peso do Pedido i ;

F_i – Frete Unitário associado ao pedido i ;

M_i – Peso máximo de agrupamento em um veículo para poder atender um pedido i ;

N_i – Custo de não atendimento do pedido i ;

J – Conjunto de veículos disponíveis para entrega;

Q_j – Capacidade do veículo j .

4.5.2. Variáveis

As variáveis para esta modelagem foram definidas da seguinte forma:



$$W_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Pedido } i \text{ é alocado ao veículo } j \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

P_{ij} – Peso do Pedido i alocado ao veículo j ;

U_j – Maior frete unitário dentre os pedidos alocados ao veículo j ;

C_j – Custo da viagem do veículo j

4.5.3. Restrições

Para que o modelo funcionasse era preciso incluir quais as restrições que ele deveria atender para resolver o problema, 5 restrições básicas foram necessárias para a construção da modelagem no programa, são elas:

1. Restrição de variáveis binárias;
2. Restrição de alocação;
3. Restrição de capacidade;
4. Restrição de maior frete;
5. Restrição de tráfego.

4.5.4. Função Objetivo

A função objetivo para este problema é a de minimizar o custo total da viagem. No cálculo da função objetivo, foi levado em consideração o somatório das variáveis correspondentes ao custo da viagem de cada caminhão j (C_j) mais o custo de não entrega de cada pedido i , que seria acrescido, apenas no caso do não atendimento do pedido.

4.5.5. Modelagem Matemática

Neste tópico será descrita a modelagem matemática utilizada para a elaboração do modelo.

$$\text{Minimizar } \sum_{j=1}^J C_j + \sum_{i=1}^I (1 - \sum_{j=1}^J W_{ij}) \cdot N_i \quad (1)$$

Sujeito a:

$$C_j = (U_j \cdot Q_j) + \left\{ (U_j \cdot Q_j) \cdot \left[0,05 \cdot \left(\sum_{i=1}^I W_{ij} - 1 \right) \right] \right\}, \text{ para cada } j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J W_{ij} \leq 1, \text{ para cada } i \in I \quad (3)$$

$$P_{ij} = P_i \cdot W_{ij}, \text{ para todo } i \in I, j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I P_{ij} \leq Q_j, \text{ para cada } j \in J \quad (5)$$



$$U_j \geq W_{ij} \cdot F_i \quad , \text{ para todo } i \in I, \text{ e cada } j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{i=1} P_{ij} \cdot W_{ij} \leq M_i \quad , \text{ para todo } i \in I, j \in J \quad (7)$$

$$W_{ij} \in \{0,1\}$$

Função Objetivo:

(1) Minimizar o somatório do custo da viagem de cada veículo e o somatório do custo de não atendimento dos pedidos, que vem a ser uma penalidade acrescida a função objetivo no caso de não alocação do pedido, forçando o modelo a alocar todos os pedidos possíveis, respeitando a quantidade de veículos disponíveis e as restrições.

Restrições:

(2) Cálculo do custo da viagem de cada veículo. Respeitando de forma realista o cálculo do frete praticado pela empresa, onde o maior frete unitário dentre os pedidos alocados ao veículo é multiplicado por sua capacidade e acrescido do prêmio de entrega no caso de agrupamento de 2 ou mais pedidos, a parcela da restrição que calcula o prêmio de entrega não delimita o prêmio à 15% que seria o prêmio máximo de entrega tendo em vista que, devido a capacidade máxima dos veículos, é possível agrupar apenas 4 pedidos em cada veículo.

(3) Garante que 1 pedido será atendido integralmente apenas por um veículo, não podendo assim ser fracionado, apenas agrupado a outros pedidos.

(4) Cálculo do peso de cada pedido i alocado a um veículo j .

(5) Garante que o somatório do peso dos pedidos alocados a um veículo seja menor ou igual a sua capacidade.

(6) Define o maior frete dentre os clientes atendidos por um veículo.

(7) Garante que o peso máximo que pode ser alocado a um veículo para que ele atenda a um determinado cliente seja respeitado, dessa forma o modelo garante que ao alocar um pedido de um cliente com restrição de localização a um veículo, o mesmo não poderá exceder a carga permitida de tráfego naquela região.

Esta modelagem teve por objetivo minimizar o custo com o frete pago pela empresa, respeitando as limitações que a mesma possui em sua operação, de forma a atender de forma prioritária os clientes mais importantes para a organização e não infringir as leis que regulam o tráfego no local.

4.6. Testes e Análise dos Resultados

A fim de validar a eficácia do modelo, foi feita uma comparação entre as alocações reais feitas pelo CD estudado e a alocação otimizada pelo modelo. A intenção seria a de verificar se o modelo realmente faria uma alocação que resultasse em uma redução no custo das viagens e assegurar que os resultados obtidos respeitem as restrições reais da empresa, validando assim o modelo. A seguir será apresentada, como exemplo, uma comparação entre a alocação real e a alocação otimizada.



- Alocação Real:

- Agrupou pedidos em apenas 2 veículos;
- Utilizou 13 veículos para atender aos pedidos;
- Frete total das viagens de R\$ 1.301,73.

- Alocação Otimizada:

- Agrupou pedidos em 4 veículos;
- Utilizou 11 veículos para atender a mesma quantidade de pedidos;
- Frete total das viagens de R\$ 1.156,37 cerca de 11% menor que a alocação real feita no CD.

Como é possível verificar, a alocação otimizada resultou em um custo de frete 11% abaixo do custo real pago pela empresa com esta alocação, validando assim a eficácia do modelo na resolução do problema proposto exibindo resultados melhores do que o realizado.

Alocação Real		
Veículos	Pedidos	Frete R\$
1	1	R\$ 161,91
2	2, 3	R\$ 97,79
3	4	R\$ 76,23
4	5	R\$ 161,91
5	6	R\$ 161,91
6	7	R\$ 95,94
7	8, 9	R\$ 150,68
8	10	R\$ 136,92
9	11	R\$ 51,66
10	12	R\$ 51,66
11	13	R\$ 51,80
12	14	R\$ 51,66
13	15	R\$ 51,66

Alocação Otimizada		
Veículos	Pedidos	Frete R\$
1	-	R\$ -
2	13	R\$ 77,70
3	5, 10	R\$ 170,01
4	7	R\$ 77,49
5	-	R\$ -
6	1, 3	R\$ 210,48
7	4, 15	R\$ 108,49
8	6, 8	R\$ 226,67
9	11	R\$ 51,66
10	12	R\$ 51,66
11	14	R\$ 51,66
12	2	R\$ 62,09
13	9	R\$ 68,46

Custo Total Real R\$ 1.301,73

Custo Total Otimizado R\$ 1.156,37

Redução (R\$)	R\$ 145,36
Redução (%)	11%

TABELA 2 - Alocação Real vs. Otimizada.

Fonte: As Autoras (2013)

5. Conclusão e considerações finais

Este estudo teve por objetivo, propor uma solução para um problema real de composição de cargas, fazendo uso dos conceitos de logística e Pesquisa Operacional, através da construção de um modelo matemático não linear baseado em modelagem de problemas de *bin-packing* e roteirização de veículos.



Com base nos resultados obtidos, pode-se considerar que o objetivo deste estudo foi alcançado, demonstrando que há possibilidade de redução de custos ao utilizar uma modelagem matemática no auxílio à tomada de decisão das composições de carga do CD estudado. A aplicação da ferramenta nos demais CDs da empresa acarretaria em uma significativa redução no custo com o frete, representando ganhos consideráveis para a organização. Tendo em vista que, o transporte de cimento, por ser um produto de baixo valor agregado, pode representar cerca de 25 a 30% da receita da empresa.

Uma simplificação do modelo com o intuito de diminuir o tempo de espera de resposta, poderia ser alcançado fazendo uma divisão entre os pedidos que necessitam passar pelo processo decisório de agrupamento e àqueles que já se encontram em condições de serem carregados. Durante a elaboração do projeto, foi verificado que em um dia de expedição, cerca de 12% dos pedidos no CD estudado não necessitam ser agrupados.

Tendo em vista que nem todos os CDs da empresa possuem clientes localizados em áreas com tráfego de veículos de carga restritos, uma das sugestões para simplificar o modelo, poderia ser também o de considerar o grupo de clientes restritivos, como clientes que não precisam de agrupamento. Considerando um dia de distribuição no CD onde há uma grande quantidade de clientes restritivos, notou-se que apenas 14% dos pedidos eram pertencentes a esses clientes e apenas 2% poderiam ser agrupados com outros pedidos.

Apesar de o melhor cenário para adaptação ao processo logístico dos CDs hoje ser o de rodar uma otimização por cada veículo que chegue ao depósito, como muitos dos pedidos já estão no sistema 1 dia antes da data de entrega (D-1), e a empresa tem conhecimento da frota que terá disponível, é possível rodar a otimização para os pedidos em D-1, e após entrada de novos pedidos pela manhã, rodar uma nova otimização. Como os pedidos que entram no sistema após as 11:30 horas do dia (D) não necessitam ser entregues no mesmo dia, um segundo momento para rodar a otimização seria quando chegasse ao limite os pedidos para a data de entrega D, ou seja, 11:30 horas.

Sendo assim, acredita-se que com algum refinamento e estratégia é possível viabilizar a utilização do modelo na empresa estudada de forma a fazer toda a locação dos pedidos dentro dos prazos e alcançar a redução de custos demonstrada nos testes.

Referências

ARAÚJO, R.R. *Uma abordagem de resolução integrada para os problemas de roteirização e carregamento de veículos* [Tese]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção; 2010.

BALLOU, R.H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial*. 5ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CESAR, A.M.R.V.C. *Método do estudo (Case Studies) de caso ou método do caso (Teaching Cases)? Uma análise dos dois métodos no Ensino e Pesquisa em Administração*. [acesso em 2013 Mai 16]; [aproximadamente 23 p.]. Disponível em: http://www.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/CCSA/remac/jul_dez_05/06.pdf



REVISTA DE GESTÃO E OPERAÇÕES PRODUTIVAS

V.2, ED. 8, 2014

HILLIER, F; LIEBERMAN, G. *Introdução à Pesquisa Operacional*. 8ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KNEIB, E.C. *Subcentros urbanos: Contribuição conceitual e metodológica à sua definição e identificação para planejamento de transportes* [Tese]. Brasília. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental; 2008.

MIURA, M. *Modelagem heurística no problema de distribuição de cargas fracionadas de cimento* [Dissertação]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenharia de Sistemas Logísticos; 2008.

PINTO, H.M.C.; SIQUEIRA, RL. *Elaboração de um modelo de composição de cargas para duas empresas de segmentos diferentes* [Trabalho de conclusão de curso]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. Curso de Graduação em Engenharia de Produção. 2010.

SOUZA, D.; REHFELDT, M.J.H. *Alocação de veículos de transporte em um estudo de caso numa empresa de alimentos do vale do Itaquari*. 2011 [acesso em 2013 Feb 02]; [aproximadamente 9 p.]. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/viewFile/92/53>

STUART, I.; MCCUTCHEON, D.; HANDFILED, R.; MCLACHLIN, R.; E SAMSON, D. *Effective case research in operations management: a process perspective*. Journal of Operations Management. 2002 march 11; p. 420.