



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 08 e 09 novembro de 2007.

APLICAÇÃO DO MODELO DE ROTEAMENTO E PROGRAMAÇÃO DE VEÍCULOS À DISTRIBUIÇÃO DE FARDAMENTO DESTINADA AOS POSTOS DE VENDAS E DE ENCOMENDAS NA MARINHA DO BRASIL

Fabiano Santos de Souza

Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156 – Niterói – RJ
fab1anosantos@terra.com.br

Luis Ernesto Torres Guardia

Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156 – Niterói – RJ
tepletg@vm.uff.br.br

Resumo

Com o propósito de apresentar a estrutura logística de distribuição de uniformes no âmbito da Marinha do Brasil, analisando e identificando os elementos-chave do Canal de Distribuição dessa categoria de material, esse estudo recaiu sobre o emprego dos conceitos de Otimização Combinatória, mais propriamente os modelos de Roteamento e Programação de Veículos com vasto referencial teórico. O modelo atual de distribuição de uniformes é carente da estrutura e do planejamento necessário à condução da Política de Estoques contida nas normas da Marinha. Por esse motivo, o foco principal foi o desenvolvimento de uma estrutura ajustada a essas condições. Atualmente, o Canal de Distribuição é composto por elementos distribuídos pelo País, sendo responsáveis por uma sistemática de varejo. Os postos de distribuição e de encomendas são os elementos básicos desse sistema, onde o uniforme é destinado ao consumidor final, o militar. De início, esse estudo almejou alcançar todos os 26 postos existentes para a construção de um modelo. Entretanto, as características distintas entre os elementos de distribuição situados no Rio de Janeiro e os demais em outros estados fizeram com que houvesse a divisão dessas variáveis. Assim, o estudo voltou-se para a estrutura de distribuição em vias urbanas da Região Metropolitana do Rio, reduzindo o tamanho do problema para os quatro postos de maior demanda. Procurou-se, assim, estabelecer uma estrutura para a distribuição em lide, uma vez que o modelo atual é carente de planejamento e de recursos apropriados. A visualização de grafos foi parte integrante da modelagem envolvendo roteamento, sendo aplicadas distâncias e demandas entre os nós selecionados para serem estudados. Contudo, face às características de complexidade (NP-difícil) desses modelos, o pacote computacional utilizado, o LINDO 6.1, não permitiu estender o número de fatores em análise, devido à demanda excessiva de tempo para a simulação das variáveis e das restrições envolvidas. Por fim, os resultados obtidos demonstraram ser possível realizar melhorias no modelo existente, uma vez que a modelagem final estabeleceu condições estruturais possíveis de aplicação numa situação real.

Palavras-Chaves: Canal de Distribuição; Roteamento de Veículos; Programação Inteira.

Abstract

With the intention to present the logistic structure of distribution of uniforms in the scope of the Navy of Brazil, being analyzed and identifying the element-key of the Canal of Distribution of this category of material, this study it fell again on the job of the concepts of Combinatorial Optimization, more properly the models of Routing and Programming de Vehicles with vast theoretical refer. The current model of distribution of uniforms is devoid of the structure and the necessary planning to the conduction of the Politics of Supplies contained in the norms of the Navy. For this reason, the main focus was the development of a structure adjusted to these conditions. Currently, the Canal of Distribution is composed for elements distributed for the Country, being responsible for retail systematic. The ranks of distribution and orders are the basic elements of this system, where the uniform is destined to the final consumer, the military man. Of beginning, this study it longed for to reach all the 26 existing ranks for the construction of a model. However, the distinct characteristics between the situated elements of distribution in Rio de Janeiro and excessively in other states had made with that it had the division of these variables. Thus, the study Metropolitan of the Rio turned itself toward the structure of distribution in urban ways of the Region, reducing the size of the problem for the four ranks of bigger demand. It was looked, thus, to establish a structure for the distribution in deals, a time that the current model is devoid of planning and appropriate resources. The visualization of graphs was integrant part of the modeling involving routing, being applied distances and demands between we selected to be studied. However, face to the characteristics of complexity (NP-hard) of these models, used computational package, LINDO 6.1, and did not allow extending the number of factors in analysis, due to extreme demand of time for the simulation of the variable and the involved restrictions. Finally, the gotten results had demonstrated to be possible to carry through improvements in the existing model, a time that the final modeling established possible structural conditions of application in a real situation.

Keywords: Supply chain. Vehicle Routing. Integer Programming.

1. INTRODUÇÃO

Dentre muitos recursos necessários ao desempenho da Força Militar Naval, destacam-se também os uniformes, símbolo do orgulho e do reconhecimento da condição de militar, que sugere um comprometimento com a representação investida por cada indivíduo. A falta desse produto tem, além de outros efeitos, a diminuição moral de pertencimento. A farda é algo institucional e a distribuição de seus componentes deve ser alvo de constante aprimoramento. Instituída tal condição, a distribuição de uniformes é a base da otimização em diversas partes da cadeia de abastecimento. O uniforme militar é uma categoria de material identificada no âmbito da Marinha pelo Símbolo de Jurisdição (SJ) “U”, contendo mais de 3.000 itens registrados. A distinção entre os itens se dá por tipo e, na maioria dos casos, também pelo tamanho. A distribuição de uniformes aos militares ocorre na forma de varejo, contemplando uma rede de distribuição composta por 26 postos de Distribuição/Encomendas posicionados geograficamente pelo País. Nesse caso, pode-se dizer que o Depósito de Fardamento no Rio de Janeiro (DepFMRJ) faz o papel do atacadista, servindo de intermediário entre os fabricantes/fornecedores e os varejistas. Segundo Bowersox, Closs e Cooper (2006, p. 99) o principal papel do atacadista está em sua especialização em desempenhar sortimento de modo a reduzir custos e risco para os outros membros do canal e os varejistas são os participantes mais visíveis para os consumidores, desempenhando funções que se combinam para oferecer aos seus clientes-alvo os produtos certos, no local certo, no tempo certo, na quantidade certa e no preço certo. O desempenho dessas atividades está diretamente relacionado com a administração dos níveis de serviço do canal de distribuição, sendo desejável o alcance dos patamares estabelecidos no planejamento. Contudo a fixação de níveis de serviços compreende a identificação de elementos-chave que determinam o serviço e a forma como podem ser medidos, cabendo a administração fixar os padrões de nível de serviço após o

conhecimento desses elementos. (BALLOU, 1993, p. 80 et seq.)

Apesar da estrutura estabelecida na Marinha, o fluxo não tem garantido os níveis de serviço desejados, possibilitando o atendimento ideal das necessidades do cliente-alvo desse sistema. Dentre as muitas causas, citam-se as principais:

- a) A falta de recursos financeiros para a manutenção dos níveis de estoques adequados;
- b) O processo moroso de aquisição provocada pelas barreiras da legislação vigente para as aquisições no âmbito governamental;
- c) A diversidade de itens registrados necessários ao estabelecimento da andaina básica de uniformes; e
- d) A falta de planejamento adequado na execução da distribuição e transporte de uniformes, garantindo o fluxo entre o DepFMRJ e os Postos de Distribuição.

2. O CANAL DE DISTRIBUIÇÃO

A necessidade de suprir a demanda de uniformes destinada aos militares da ativa fez com que a Marinha desenvolvesse uma estrutura que possibilitasse tal feito, onde cada elemento organizacional desempenha uma função inerente ao processo de distribuição. Para Ballou (1993, p. 40) a distribuição física é um ramo da logística empresarial que trata da movimentação, estocagem e processamento de pedidos dos produtos finais da empresa. Segundo Bowersox, Closs e Cooper (2006, p. 93) o Canal de Distribuição pode ser definido como uma rede de organizações e instituições que, em combinação, desempenham todas as tarefas para ligar produtores a clientes finais, a fim de realizar a tarefa de *marketing*.

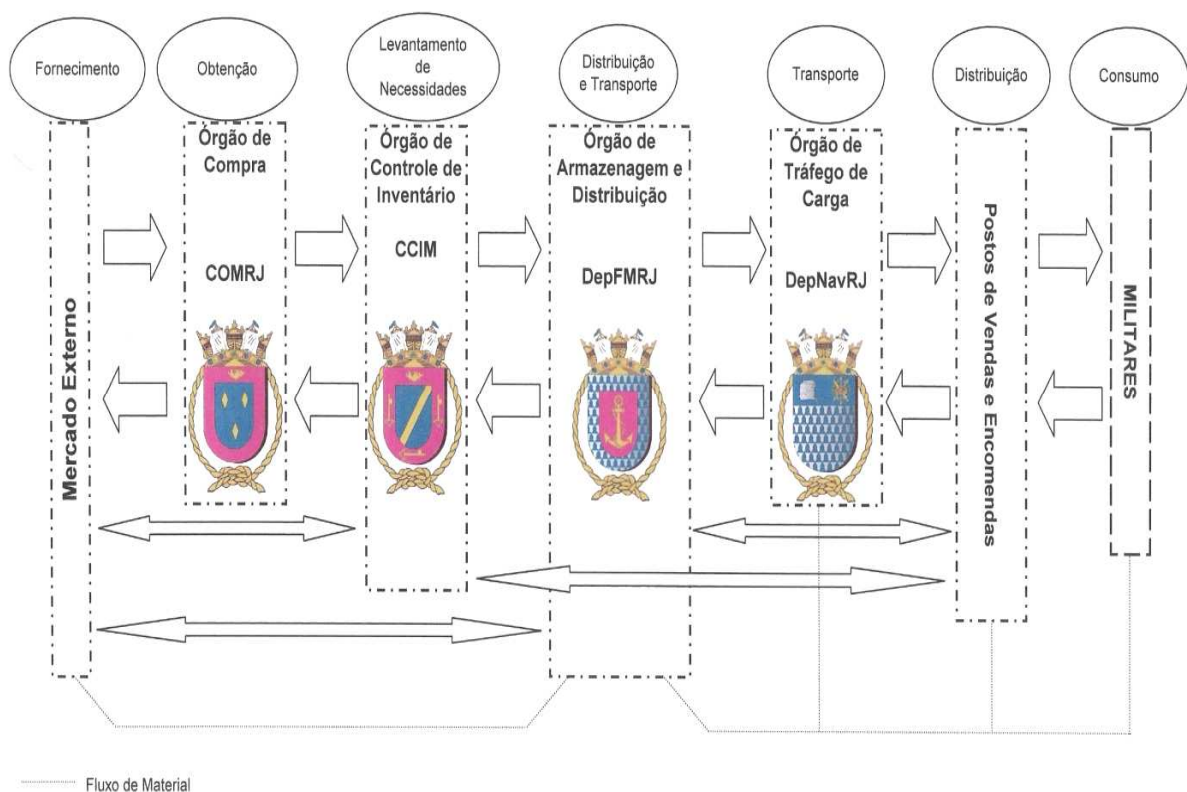


Figura 1 – O mapeamento do canal de distribuição de uniformes.

Fonte: o autor.

O enfoque nesses conceitos possibilitou o mapeamento do canal de distribuição de uniformes desempenhado na Marinha (Fig. 1), com a identificação das funções exercidas e os respectivos responsáveis. A determinação de necessidades em sentido corrente permite acompanhar os níveis de estoque e avaliar o momento de reabastecimento, disparando *inputs* para a obtenção de recursos materiais junto ao mercado. O Centro de Controle de Inventários da Marinha (CCIM) é órgão do Sistema de Abastecimento da Marinha, subordinado à

Diretoria de Abastecimento da Marinha, responsável por executar a determinação de necessidades, utilizando os recursos do Sistema de Informações Gerenciais do Abastecimento (SINGRA), cujo banco de dados conta com os valores dos estoques disponíveis e em trânsito, já segregados, que se destinam aos diversos órgãos consumidores e navios espalhados geograficamente pelo país. Ressalta-se ainda a disponibilidade de ferramentas de determinação de demandas utilizando recursos matemáticos de previsão, como, por exemplo, as médias móveis, possibilitando medir a sazonalidade de cada item.

A obtenção é atividade gerencial que sucede a determinação de necessidades, após a inserção dos Pedidos de Obtenção feitos pelo CCIM no SINGRA, onde são agregados aos Processos de Aquisição. O Centro de Obtenção da Marinha no Rio de Janeiro (COMRJ) é o órgão responsável pela execução da obtenção no País, executando ainda as atividades de acompanhamento (*follow up*) e gestão dos recursos destinados ao pagamento das aquisições efetuadas. As aquisições são feitas mediante a execução de procedimentos administrativos formais contidos nos processos licitatórios, sob a égide da legislação pertinente¹.

Após o processo de obtenção, os fornecedores contratados entregam os produtos adquiridos no DepFMRJ para recebimento, perícia, armazenagem, expedição e distribuição aos Postos de Distribuição e de Encomendas, que realizam a distribuição aos clientes finais; militares da ativa. Em comparação com a distribuição dos demais recursos necessários ao desempenho das atividades da Marinha, a distribuição de uniformes possui imenso diferencial, tendo em vista a necessidade de atender a individualidade de cada militar. O nível de sortimento deve considerar a biometria, a graduação, a especialização e o sexo de cada um. Bowersox, Closs e Cooper (2006) definiram como um passo básico para esse sortimento a concentração, que se refere à coleta de grandes quantidades de produto ou de produtos múltiplos para serem vendidos ou distribuídos como um grupo. A concentração contribui para a redução dos custos de transportes. Sendo assim, o arranjo do canal deve cooperar para o fornecimento de uma composição apropriada de produtos.

A distribuição de uniformes na Marinha do Brasil emprega conceitos comuns ao processo de varejo, concentrando em único Depósito o maior volume de estoque armazenado e minimizando as disponibilidades nas prateleiras, com base no acompanhamento da demanda de cada elemento de distribuição. O DepFMRJ é o responsável pela armazenagem dos grandes volumes de estoque de uniformes, segregando e encaminhando as quantidades solicitadas. Os elementos de distribuição são divididos em três categorias:

- a) PDU-Móveis – são caminhões ou ônibus adaptados para transportar peças de uniforme dentro das normas de segurança e em boas condições de armazenagem. São ainda possuidores de espaços próprios para venda desta categoria de material ao público interno da Marinha;
- b) PDU – tem como propósito facilitar a distribuição de uniformes, em áreas de grande concentração de efetivos, tais como Bases Navais e Órgãos de Formação de Militares;
- e
- c) PEU – tem como propósito manter uma metodologia de atendimento rápida em áreas cuja demanda não justifique a implantação de PDU e com limitações que não permitam o encaminhamento de PDU-Móvel. Os PEU não possuem estoque para fornecimento imediato, mas funcionam como pontos de encomenda de uniformes para o pessoal lotado em dada área.

3. O PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS (PRV)

¹ Lei nº 8.666/93.

Segundo Laporte et al. (2000, p.285-300, apud CUNHA, 2004) o problema de roteirização de veículos consiste em definir roteiros de veículos que minimizem o custo total de atendimento, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base dos veículos, assegurando que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e a demanda em qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende. Quando a definição dos roteiros envolve não só aspectos espaciais ou geográficos, mas também temporais, tais como restrições de horários de atendimento nos pontos a serem visitados, os problemas são então denominados roteirização e programação de veículos.

O primeiro problema de roteirização a ser estudado foi o do folclórico caixeiro viajante (no inglês *“traveling salesman problem”* ou TSP), que consiste em encontrar o roteiro ou seqüência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante que minimize a distância total percorrida e assegure que cada cidade seja visitada exatamente uma vez.

Desde então, novas restrições vêm sendo incorporadas ao problema do caixeiro viajante, de modo à melhor representar os diferentes tipos de problemas que envolvem roteiros de pessoas e veículos, entre as quais: restrições de horário de atendimento (conhecidas na literatura como janelas de tempo ou janelas horárias); capacidades dos veículos; frota composta de veículos de diferentes tamanhos; duração máxima dos roteiros dos veículos (tempo ou distância); e restrições de tipos de veículos que podem atender determinados clientes.

3.1 Os Métodos Exatos

A utilização de métodos exatos na solução de PRV caracteriza-se pelo emprego pelas técnicas de *“branch-and-bound”*, por programação dinâmica e por métodos de programação inteira. A técnica de *“branch-and-bound”* resume-se a obtenção de bons limites inferiores para o valor da função objetivo, podendo aplicar o *“branching”* nos arcos ou nas rotas. A Programação Inteira utiliza técnicas de ramificação, mas sofre limitações de tamanho devido ao elevado esforço computacional inerente ao número de variáveis inteiras. A Programação Dinâmica é uma técnica que envolve uma busca de caminho ótimo em um grafo auxiliar sem circuitos, cujos níveis são chamados estágios, os vértices são os estados e os arcos as transações. O valor da função objetivo é determinado por uma equação de recorrência, que recebe um valor de um estágio anterior e o projeta para o estágio seguinte. O problema nesse último é o grande número de vértices desse grafo auxiliar, que inviabiliza a aplicação dessa técnica.

Os algoritmos exatos mais freqüentemente utilizados são os da classe *“branch-and-bound”*. Em resumo, são buscas em árvore que se caracterizam pelo particionamento do conjunto de soluções por um critério de *“branching”*. Ao ser determinado cada limite inferior para as soluções de cada subconjunto, faz-se a opção, a cada iteração, pelo conjunto que ofereceu o menor limite inferior até o momento. Dessa forma, grande parte das soluções encontrada deixa de ser examinadas contribuindo para acelerar a obtenção da solução ótima. Apesar dessa aplicabilidade, essa técnica é afetada pelo tempo computacional que cresce à medida que a ordem do problema, também, aumenta. O *“branch-and-bound”* é usado em muitos casos como heurística, atingindo um tempo muito maior para chegar a otimalidade.

3.2 A Gestão da Cadeia de Suprimentos

A chave para uma boa gestão da cadeia de suprimentos é a sincronização dos fluxos entre os elementos desta rede. A ausência de sincronização provoca um perverso efeito que causa prejuízos a todos os elementos da cadeia e é chamado de efeito chicote.

Em uma cadeia de suprimentos perfeitamente sincronizada o modelo de ordem em cada estágio deveria imitar o modelo de consumo do estágio à jusante, até que se chegasse ao consumidor final (ibid.). Desta forma, não haveria geração de estoques desbalanceados ao longo da cadeia de suprimentos, com seus efeitos perversos conseqüentes. Chama-se Resposta Rápida – *“quick response”*, conforme Chopra e Meindl (2003), "o conjunto de ações tomadas

em uma cadeia de suprimentos que conduz a uma redução do tempo de reposição".

Gestores de uma cadeia de suprimentos tornam-se capazes de aumentar a precisão de suas previsões de demanda à medida que o tempo de reposição diminui, o que permite equilibrar demanda e suprimento de maneira mais eficiente e aumentar a lucratividade da cadeia de suprimentos. Quanto maior a defasagem de tempo entre a data da colocação da encomenda, que pressupõe uma determinada demanda no momento em que a encomenda será entregue, maior será a probabilidade da demanda prevista e, portanto, da encomenda feita, ser diferente da demanda real. A probabilidade de haver incerteza no cálculo da demanda se deve ao fato de a cada intervalo de tempo em que o horizonte de planejamento se afasta, mais difícil fica prever o que o consumidor irá comprar. Obviamente, a colocação de ordens de suprimento adiantadamente, provoca ora as faltas de atendimento, ora os excessos de estoque.

O tempo de reposição deve ser constantemente discutido entre os elementos da cadeia no sentido de eliminar fatores causadores de demoras como:

- a) Tempo de comunicação das quantidades a serem ordenadas;
- b) Programação de produção dos fabricantes feita em ciclos de longa duração;
- c) Tempo de preparação de máquinas dos fabricantes obrigando produção em grandes lotes;
- d) Transportes ineficientes geradores de demoras; e
- e) Processos demorados de recebimento, conferência e inspeção de mercadorias, etc.

4. A CONSTRUÇÃO DO MODELO

A construção do modelo representativo do problema foi baseada nos elementos constitutivos. Cabendo a identificação das partes envolvidas no contexto pesquisado, definindo suas funções e explicitando-lhes os atributos. A formulação do modelo que conduziu ao processo de otimização contém os seguintes elementos: o Grafo, os Postos, as demandas, os veículos e suas capacidades de carga, as distâncias, a variável de decisão, a função-objetivo e as restrições.

O Grafo $[G = (P,A)]$ é o conjunto de vértices e arcos do modelo. Os Postos de Distribuição e o DepFMRJ são os vértices (P) representados pelas letras "i" e "j", significando a saída e a chegada de acordo com a rota utilizada. Os Arcos (A) correspondem ao conjunto "ij" de distâncias percorridas. Foram considerados os trajetos sempre no sentido de "i" para "j".

Postos de Distribuição são os elementos que constituem a rede de distribuição em estudo já identificados. Os pontos foram representados no conjunto P e, no intuito de facilitar a modelagem matemática, o vértice DepFMRJ foi duplicado, ou seja, "0" para saída e "N + 1" para chegada de todos os veículos.

As demandas foram calculadas com base nas requisições de materiais (RMT) registradas durante os exercícios de 2004, 2005 e 2006, dividindo-se o volume movimentado por cada PDU/PEU durante o ano pela quantidade de entregas realizadas no período considerado. A demanda média do período analisado (2004 a 2006) consistiu na divisão do somatório das demandas por PDU/PEU em cada ano por três. A movimentação diária de cada entrega efetuada pelo DepFMRJ é registrada pela sua Divisão de Expedição. A demanda de cada Posto de Distribuição "i" foi representada por "q_i". A demanda do Depósito foi, hipoteticamente, determinada como nula, não havendo retorno de material. Os tipos de veículos escolhidos não constam no modelo atual. A hipótese usada foi a de empregar um modelo de veículo rápido e adaptado a realidade das vias urbanas. Desse modo, foi levada em consideração uma capacidade de carga intermediária entre os veículos pesados (e. g. caminhões) e os de categoria leve (e. g. pick-up), adotando o tipo de furgão com capacidade entre "7" e "16m³" (e. g. Ducato). Para esse estudo, utilizaram-se veículos homogêneos sendo representados pela letra "v", compreendendo o conjunto V. A carga dos veículos foi

representada pela letra Q. A quantidade de veículos foi validada pelo valor da demanda diária média no período de 2004 a 2006. Cada posto foi atendido por apenas um veículo, não tendo sido permitida a divisão de cargas entre eles. As distâncias entre os vértices, o ponto de origem e o de chegada corresponderam aos trajetos realizados pelos veículos, de acordo com as localizações dos postos. Sendo que, por se tratar de deslocamentos em vias urbanas, observou-se que os trajetos de ida são diferentes daqueles de retorno, ou seja, assimétricos. Em função disso, foram determinados os valores dos índices que determinam a quantidade de variáveis inteiras do problema, sendo “i” e “j” para o número de postos e “v” para o número de veículos a serem testados. A modelagem do Problema de Roteirização de Veículos em estudo tem as características, conforme o Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 – Características da Modelagem.

Características da Modelagem	
Número de Roteiros	Múltiplos
Número de Postos (Nós)	4
Número de Veículos	2
Localização dos Clientes	Nós
Limite de capacidade dos Veículos	Sim
Tipo de Frota	Homogênea
Número de Bases	Uma
Demandas	Determinísticas

Fonte: o autor

Os postos escolhidos para a modelagem do problema foram selecionados com base no maior valor de demanda, conciliando-se a distância entre eles e o grau de importância para a análise. Desse modo, obtém-se a seguinte tabela de demandas:

Tabela 1 – Demanda dos postos considerados na modelagem.

	2004	2005	2006	2004 a 2006
PEU/PDU	Demanda Diária	Demanda Diária	Demanda Diária	Demanda Média
BNRJ ²	3,6	3,4	3,8	3,6
CIAMPA ³	4,1	5,3	5,1	4,9
CIAW ⁴	2,8	0,5	2,6	2,0
Com1DN ⁵	2,8	3,1	3,1	3,0
Total	13,4	12,3	14,6	13,5

Fonte: DepFMRJ.

As duas viaturas tiveram capacidade de carga homogênea de 7m³.

As distâncias entre os postos selecionados constam no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Distâncias entre os postos selecionados.

DESTINO

² Base Naval do Rio de Janeiro, localizado na Ilha de Mocanguê em Niterói.

³ Centro de Instrução Almirante Milclíades Portela Alves, localizado na Avenida Brasil, nº 44878, Guandu do Sapê, Campo Grande.

⁴ Centro de Instrução Almirante Wandenkolk, localizado na Praça Barão de Ladário, s/n, Centro, Rio de Janeiro.

⁵ Comando do Primeiro Distrito Naval, localizado na Praça Mauá, nº 65, Centro, Rio de Janeiro

Local	DepFMRJ (j = 5)	BNRJ (j = 1)	CIAMPA (j = 2)	CIAW (j = 3)	Com1DN (j = 4)
DepFMRJ (i = 0)	0,00	26,16	37,56	18,76	17,96
BNRJ (i = 1)	33,60	0,00	79,30	24,20	26,10
CIAMPA (i = 2)	47,44	60,90	0,00	51,97	52,04
CIAW (i = 3)	15,91	23,37	48,92	0,00	0,85
Com1DN (i = 4)	15,38	22,85	49,38	2,31	0,00

Fonte: Dados extraídos do sítio da internet www.ondeestou.com.br.

A Função Objetivo do modelo visou minimizar a distância total percorrida entre os postos de distribuição de uniformes, com base na demanda determinística de cada e na restrição de capacidade do(s) veículo(s) empregado(s). O Grafo $G(P,A)$ é o conjunto dos Postos e Arestas formados na modelagem. Cada aresta “A” foi representada pelo conjunto de trajetos (i,j) para os quais os veículos “v” percorreram, enumerando-se os percursos realizados. Assim, definiu-se a função de minimização com as seguintes características:

$$\text{Min} \sum_{v \in V} \sum_{i \in G} \sum_{j \in G} d_{ij} \cdot X_{ijv}$$

para:

$$G = (P,A)$$

$$A = (i,j)$$

$$i = 0,1,2,3,4$$

$$j = 1,2,3,4,5$$

$$v = 1,2$$

As restrições do modelo constituíram as limitações dos elementos constitutivos, além de atribuir rotinas e características ao roteamento desejado para os veículos. Desse modo, as restrições foram definidas da seguinte forma:

- Restrição de passagem de veículos;
- Restrição de capacidade;
- Restrição de saída e chegada ao depósito;
- Restrição de continuidade da rota;
- Restrição de sub-rotas; e
- Restrição de integralidade.

A restrição de Passagem de Veículos visou garantir que apenas um veículo “v” chegasse a cada posto “i”. Assim, definiu-se a restrição da seguinte forma:

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in G} x_{ijv} = 1; \forall i \in P$$

A variável “ x_{ijv} ” é inteira assumindo valor “0” ou “1”. Essa restrição permitiu a estabelecer a situação delineada por Hamilton, em que cada vértice fosse visitado uma única vez.

A restrição de Capacidade visou garantir que cada veículo atenderia somente um conjunto de postos, cuja demanda total não ultrapasse a sua capacidade “Q”. Assim, definiu-se a restrição da seguinte forma:

$$\sum_{i \in P} q_i \cdot \sum_{j \in G} x_{ijv} \leq Q; \forall v \in V$$

A capacidade de carga “Q” de cada veículo foi definida de acordo com as características do veículo escolhido para o modelo. Destaca-se o fato de que não foi permitida a divisão de cargas entre os veículos, a fim de considerar que a consolidação das cargas devia

respeitar a clientela assistida, dentro do limite de carga em cada veículo.

A restrição de Saída e Chegada ao Depósito visou garantir que cada veículo “v” partiria e retornaria ao DepFMRJ. Assim, definiu-se a restrição da seguinte forma:

$$\sum_{j \in G} x_{0jv} = 1; \forall v \in V$$

$$\sum_{j \in G} x_{i(N+1)v} = 1; \forall v \in V$$

O valor N representa os postos de distribuição, sendo igual a “4”. Os pontos de origem e de destino foram numerados de “0” a “5” e o depósito recebeu o número “0”, quando fosse origem, e “5” (N+1 = 4 + 1 = 5), quando fosse o destino final do roteiro realizado. Essa restrição representou a característica do modelo, em que não se dispunha de garagens intermediárias para retorno. Sendo assim, o único caminho final permitido foi o de retorno ao depósito.

A restrição de Continuidade da Rota visou garantir que se um veículo “v” chegasse a um posto esse deveria sair do mesmo para o consumidor seguinte. Assim, definiu-se:

$$\sum_{i \in G} x_{ijv} - \sum_{j \in G} x_{h j v} = 0; \forall h \in P, \forall v \in V$$

O índice “h” representou o posto de distribuição seguinte, após um veículo “v” ter passado por um posto anterior. A restrição impediu a permanência do veículo em determinado ponto, sem que fosse cumprido o compromisso final de retornar ao ponto de final.

A restrição para eliminar a ocorrência de sub-rotas definiu-se da seguinte forma:

$$\sum_{i, j \in S} x_{ijv} \leq |S| - 1, \forall S \subseteq \{2, \dots, n\}; \forall v \in V$$

A restrição estabeleceu o número de arestas “S” que deviam ser cobertas por cada veículo, evitando-se dessa forma a ocorrência de rotas independentes, cujos trajetos não se iniciassem ou se encerrassem no depósito. A aplicação dessa restrição teve relação direta com a ocorrência de rotas independentes, ou seja, a formação de trechos que não respeitavam o número de arestas suficientemente ajustado ao modelo em estudo.

A restrição de integralidade das variáveis do problema definiu-se da seguinte forma:

$$x_{ijv} \in [0,1]; \forall i, j \in G, \forall v \in V$$

5. RESULTADOS

A experiência computacional desse estudo resultou na formação de dois caminhos realizados pelos veículos, tendo sido efetuados 12 “branches” e 353 iterações. Após a minimização, a distância total percorrida foi de 173,08 quilômetros. O tempo de resolução foi muito curto, uma vez que a existência de apenas variáveis inteiras proporciona uma considerável simetria na matriz. Por isso, a relaxação utilizada na aproximação matemática não induziu a obtenção de resultados plenamente consistentes. Embora a modelagem exata vise encontrar a melhor solução para o problema, ou seja, o ótimo global, o número elevado de soluções existentes para o PRV em dimensões elevadas torna inconcebível uma enumeração completa de todas. Apesar disso, tal modelagem foi essencial para a validação de modelos heurísticos.

A figura abaixo representa o resultado das iterações do Lindo 6.1 (Fig. 2). Observou-se que, apesar de ter sido encontrado o valor inicial mínimo de 147,91 Km, o algoritmo realizou as buscas necessárias à adaptação das restrições. O processamento dos dados pelo programa levou a inclusão ou exclusão de determinados trajetos, acarretando a penalização correspondente em cada situação até que se chegasse à solução ótima global, cujo valor final foi de 173,08 Km.

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 35
OBJECTIVE VALUE = 147.919998

FIX ALL VARS.( 16) WITH RC > 13.1400
SET X431 TO <= 0 AT 1, BND= -149.8 TWIN=-0.1000E+31 50
SET X342 TO <= 0 AT 2, BND= -153.5 TWIN=-0.1000E+31 59
SET X131 TO <= 0 AT 4, BND= -0.1000E+31 TWIN=-0.1000E+31 66
DELETE X131 AT LEVEL 4
DELETE X131 AT LEVEL 3
DELETE X342 AT LEVEL 2
DELETE X431 AT LEVEL 1
RELEASE FIXED VARIABLES
FIX ALL VARS.( 6) WITH RC > 14.5400
SET X412 TO >= 1 AT 1, BND= -179.9 TWIN= -161.5 170

NEW INTEGER SOLUTION OF 179.850006 AT BRANCH 4 PIVOT 170
BOUND ON OPTIMUM: 161.4533
FLIP X412 TO <= 0 AT 1 WITH BND= -161.45334
SET X411 TO <= 0 AT 2, BND= -162.2 TWIN= -179.9 201
SET X311 TO <= 0 AT 3, BND= -163.6 TWIN=-0.1000E+31 237
SET X312 TO <= 0 AT 4, BND= -165.5 TWIN=-0.1000E+31 264
SET X231 TO >= 1 AT 5, BND= -173.1 TWIN= -166.2 286

NEW INTEGER SOLUTION OF 173.080002 AT BRANCH 8 PIVOT 286
BOUND ON OPTIMUM: 166.2067
FLIP X231 TO <= 0 AT 5 WITH BND= -166.20667
SET X141 TO <= 0 AT 6, BND= -166.2 TWIN=-0.1000E+31 286
SET X142 TO <= 0 AT 7, BND= -166.2 TWIN=-0.1000E+31 286
SET X232 TO <= 0 AT 8, BND= -167.1 TWIN=-0.1000E+31 303
SET X212 TO <= 0 AT 9, BND= -167.2 TWIN=-0.1000E+31 320
SET X211 TO <= 0 AT 10, BND= -167.6 TWIN=-0.1000E+31 344
DELETE X242 AT LEVEL 11
DELETE X211 AT LEVEL 10
DELETE X212 AT LEVEL 9
DELETE X232 AT LEVEL 8
DELETE X142 AT LEVEL 7
DELETE X141 AT LEVEL 6
DELETE X231 AT LEVEL 5
DELETE X312 AT LEVEL 4
DELETE X311 AT LEVEL 3
DELETE X411 AT LEVEL 2
DELETE X412 AT LEVEL 1
ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 12 PIVOTS= 353

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

```

Figura 2 – Iterações no Lindo 6.1

Fonte: Lindo System, Inc., Copyright®, 2002.

Os resultados obtidos com a modelagem permitiram observar a cobertura de dois postos para cada veículo, desenvolvendo trajeto único sem cruzamentos (Fig. 3).

```

OBJECTIVE FUNCTION VALUE
1) 173.0800

VARIABLE VALUE REDUCED COST
X012 1.000000 26.160000
X021 1.000000 37.560001
X142 1.000000 26.100000
X231 1.000000 51.970001
X351 1.000000 15.910000
X452 1.000000 15.380000

ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES
NO. ITERATIONS= 353
BRANCHES= 12 DETERM.= 1.000E 0

ROWS= 21 VARS= 40 INTEGER VARS= 40( 40 = 0/1) QCP= 0
NONZEROS= 228 CONSTRAINT NONZ= 176( 144 = +-1) DENSITY=0.265
SMALLEST AND LARGEST ELEMENTS IN ABSOLUTE VALUE= 0.850000 79.3000
OBJ=MIN. NO. <.,.>: 4 16 0, GUBS <= 7 VUBS >= 0
SINGLE COLS= 0 REDUNDANT COLS= 0

```

Figura 3 – Resultado da função-objetivo.

Fonte: Lindo System, Inc., Copyright®, 2002.

O veículo “1” ($v = 1$) desenvolveu o trajeto [DepFMRJ, CIAMPA, CIAW, DepFMRJ] correspondendo a distância percorrida de 105,44Km. A carga transportada pelo veículo “1” foi de $6,9\text{m}^3$ (Fig. 4).

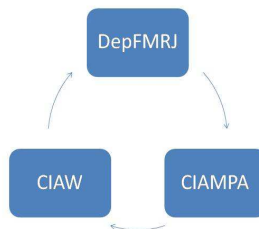


Figura 4 – Caminho executado pelo veículo “1”

Fonte: autor.

O veículo “2” ($v = 2$) desenvolveu o trajeto [DepFMRJ, BNRJ, Com1DN, DepFMRJ] correspondendo a distância percorrida de 67,64Km. A carga transportada pelo veículo “2” foi de $6,6m^3$ (Fig. 5).

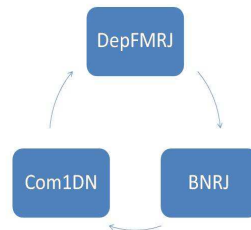


Figura 5 – Caminho executado pelo veículo “2”.

Fonte: autor.

Constatou-se, ainda, que cada veículo passou uma única vez em cada lugar, desenvolvendo um circuito hamiltoniano. A comparação entre os resultados obtidos e a situação atual pôde ser realizada de forma deduzida através da análise dos mapas de entrega constantes nos apêndices. O que se depreendeu disso foi que a programação de entregas atual não permite enxergar um caminho voltado para a otimização das distâncias e nem para a destinação e consolidação das cargas transportadas. A forma de aproximação exata utilizada demonstrou em poucas variáveis que o roteamento gerou de fato um caminho para a solução dos problemas ligados à distribuição entre os postos e o depósito.

6. CONCLUSÃO

O modelo analisado permitiu inferir que o aumento de variáveis pode gerar uma ferramenta gerencial mais completa, garantindo o bom desempenho do canal de distribuição de uniformes realizado pela Marinha do Brasil. Ressalta-se o fato de que não há rotina de roteamento, adequada as necessidades de distribuição do material sendo empregada atualmente.

O mapa de entrega é determinado pela disponibilidade de veículo, efetuando-se uma consolidação compartilhada com outros tipos de produtos, que não se destinam ao sistema de vendas e encomendas como no caso dos uniformes. Tais fatores tornaram esse estudo um recurso indicativo de otimização aplicado à função logística de Abastecimento.

A política de estocagem e distribuição de uniformes no âmbito do Sistema de Abastecimento da Marinha é, essencialmente, voltada para venda particular visando atender as necessidades prementes dos militares, sem, contudo, estabelecer uma contrapartida de estocagem onerosa de produtos em prateleira. O que se percebeu com esse estudo é que embora houvesse tal intenção, não foram providenciadas as condições estruturais necessárias para a consecução das metas planejadas e definidas nas normas da Marinha, ou seja, a implementação de um sistema de resposta rápida a demanda por encomendas.

A estrutura logística de abastecimento de uniformes não prevê a utilização de veículos rápidos e adaptados ao transporte em regiões urbanas, conforme o que foi apontado nesse estudo. Além disso, o Depósito não é detentor de uma frota própria, que nesse caso seria indicado ao caso dos uniformes, por se tratar do único item de abastecimento que é destinado

à venda em varejo.

As variáveis que interferem no abastecimento de uniformes ao longo da cadeia de abastecimento estão relacionadas às informações produzidas por meio dos sistemas informatizados destinados ao processamento tanto dos pedidos de encomendas nos postos (SISPDU), quanto das requisições de material (SINGRA). Essas informações contribuem para a operacionalização do canal de distribuição de forma eficaz, sendo que as pendências encontradas não estão relacionadas diretamente ao desempenho desses. Em síntese, a distribuição de uniformes empregada não assegura a celeridade no atendimento dos pedidos de encomendas lançados no sistema (SINGRA). A ausência de uma frota apropriada, o deslocamento desordenado, o carregamento mínimo dos veículos e a distância entre os postos distribuídos numa região metropolitana representaram as principais variáveis dessa análise. Excetuam-se as variáveis ligadas aos casos de atrasos pela falta do item em estoque, a falta de recursos de pessoal e material para processamento dos pedidos, a demora administrativa para aquisição de itens e a falta de recursos orçamentários para a realização de compras.

A Marinha do Brasil não esclarece em sua estrutura a forma de mensuração dos Níveis de Serviços e nem adota um valor de referência para o estabelecimento de metas. A situação direciona a avaliação do processo para o nível de satisfação do usuário final, o militar, que em muitos casos não se dirige aos pontos de vendas e de encomendas, devido à demora no atendimento.

Os aspectos do modelo de otimização combinatória adotado nesse estudo que se relacionam com o ambiente estudado, referem-se a forma de distribuição de uniformes adotada pela Marinha no estado do Rio de Janeiro, onde está localizado o maior número de postos de venda e de encomendas. Assim, a utilização de percursos em vias urbanas, de forma a obter o caminho mais curto a ser percorrido, é parte de um processo que levaria a criação de estruturas voltadas para a redução de custos operacionais e elevação dos níveis de serviço na distribuição por venda.

Por fim, conclui-se que é imperativa a realização de estudos mais aprofundados para a melhoria do canal de distribuição atualmente em uso. O desenvolvimento de processos heurísticos pode viabilizar a construção de modelos mais complexas que levem em consideração a inclusão de janelas de tempo com os intervalos de operação, espera e deslocamento entre os postos de distribuição. Devendo-se, ainda, avaliar a questão de dotar a logística atualmente empregada com os meios e métodos relacionados com a ordenação e roteamento de veículos, bem como a correta dotação de uma frota adequada ao volume transportado. Como proposta de trabalhos futuros é possível estabelecer projetos que visem à reestruturação do mecanismo de distribuição no varejo. O estudo dos elementos relacionados ao nível de serviço e a satisfação do cliente é um importante caminho que deve ser trilhado para a implementação de melhorias.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANUPINDI, Ravi et al. *Managing Business Process Flows*. New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- [2] BALLOU, Ronald H. *Logística Empresarial: Transportes, Administração de Material e Distribuição Física*. Trad. Hugo T. Y. Yoshizaki. São Paulo: Atlas, 1993.
- [3] BOAVENTURA NETTO, Paulo Oswaldo. *Grafos: Teoria, Modelos e Algoritmos*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2006, 313p.
- [4] BODIN, L.D. Twenty years of routing and scheduling. *Operations Research*, v.38, n.4, p.571-579, [1990] apud CUNHA, C.B. *Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais*. EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo: 2004.

- [5] BODIN, L.D. et al. Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. *Computers and Operations Research*, vol.10, n.2, [1983] apud CUNHA, C.B. *Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais*. EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo: 2004.
- [6] BOWERSOX, Donald. J. et al. *Management in marketing channels*. New York: McGraw-Hill, 1980 apud WANKE, Peter et al. *Um estudo sobre os impactos no varejo das principais decisões estratégicas de produção e distribuição da Indústria*. Centro de Estudos em Logística, Instituto COPPEAD de Administração, UFRJ, Ed. COPPEAD, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro: 2005.
- [7] BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. *Logistical management: the integrated supply chain process*. New York: McGraw-Hill, 1996 apud WANKE, Peter et al. *Um estudo sobre os impactos no varejo das principais decisões estratégicas de produção e distribuição da Indústria*. Centro de Estudos em Logística, Instituto COPPEAD de Administração, UFRJ, Ed. COPPEAD, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro: 2005.
- [8] BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.; COOPER, M. Bixby. *Bowersox: Gestão Logística de Cadeia de Suprimentos*. Trad. Camila Teixeira Nakagawa, Gabriela Teixeira Nakagawa. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- [9] CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimento: Estratégia, Planejamento e Operação*. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- [10] CLARKE, G.; WRIGHT, J. W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, v.12, p.568-581, [1964], apud CUNHA, C.B. *Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais*. EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo: 2004.
- [11] CUNHA, C.B. *Algoritmos para roteamento e programação de veículos no contexto da distribuição física*. São Paulo: EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes. 178p. (Dissertação de Mestrado), São Paulo: 1991.
- [12] _____. *Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais*. São Paulo: EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes. 222p. (Tese de Doutorado), São Paulo: 1997.
- [13] GOEBEL, Dieter. *Logística: Otimização do transporte e estoques na empresa*. Estudos em Comércio Exterior Vol. I nº 1 – jul/dez 1996 (ISSN 1413-7976). Rio de Janeiro: ECEX/IE/UFRJ – Curso de Pós-Graduação em Comércio Exterior, 1996.
- [14] GOLDBARG, M. C; LUNA, Henrique L. P. *Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- [15] HALL, R.W; PARTYKA, J. G. *On the road to efficiency*. *OR/MS Today*, p.38-47, jun/97, [1997] apud CUNHA, C.B. *Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais*. EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo: 2004.
- [16] LACHTERMACHER, Gerson. *Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- [17] LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R. e ELLRAM, L. M., *Lambert: Fundamentals of logistics management*. New York: Duxbury Press, [1998], 797 p. apud WANKE, Peter et al. *Um estudo sobre os impactos no varejo das principais decisões estratégicas de produção e distribuição da Indústria*. Centro de Estudos em Logística, Instituto COPPEAD de Administração, UFRJ, Ed. COPPEAD, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro: 2005.
- [18] LAPORTE, G. et al. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem.

International Transactions in Operational Research, v.7, n. 4/5, p.285-300, [2000] apud CUNHA, C.B. Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais. EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo: 2004.

- [19] LEEUW, S. D.; GOOR, A. R. *The selection of distribution control techniques*. The International Journal of Logistics Management. Columbus, v. 10, n. 1, p. 97-112, [1999] apud WANKE, Peter et al. *Um estudo sobre os impactos no varejo das principais decisões estratégicas de produção e distribuição da Indústria*. Centro de Estudos em Logística, Instituto COPPEAD de Administração, UFRJ, Ed. COPPEAD, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro: 2005.
- [20] LEVY, M.; WEITZ, B. *Retailing management*. New York: McGraw Hill, 1998, apud WANKE, Peter et al. *Um estudo sobre os impactos no varejo das principais decisões estratégicas de produção e distribuição da Indústria*. Centro de Estudos em Logística, Instituto COPPEAD de Administração, UFRJ, Ed. COPPEAD, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro: 2005.
- [21] RONEN, D. Perspectives on practical aspects of truck routing and scheduling. *European Journal of Operational Research*, 35(2):137-145, [1988] apud CUNHA, C.B. Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais. EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo: 2004.
- [22] SOUZA, Fabiano Santos de. *Aplicação do modelo de roteamento e programação de veículos à distribuição de fardamento destinada aos postos de vendas e de encomendas na Marinha do Brasil / Fabiano Santos de Souza – Niterói, RJ: [s.n.], 2007. 148 f.*