

UM PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO NAS OPERAÇÕES DE TRANSPORTE DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA

Ulisses de Oliveira Bonasser

Programa de Doutorado - Departamento de Engenharia de Transportes - EPUSP

Instituto de Logística da Aeronáutica

Nicolau Dionísio Fares Gualda

Departamento de Engenharia de Transportes

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

Este trabalho descreve uma pesquisa de doutorado, em andamento, que trata de um problema de roteirização de veículos (PRV) encontrado em certas operações de transporte da Força Aérea Brasileira, especialmente quando do atendimento a localidades remotas na região amazônica. As condições de operação, neste caso, acrescentam ao PRV a possibilidade da existência de múltiplas bases e de uma frota heterogênea, determinada *a priori*, além das restrições clássicas de capacidade e autonomia dos veículos. Como se trata de um conjunto de restrições ainda não explorado, são apresentadas a importância e a caracterização do problema, seguidas pela citação dos principais métodos de solução de problemas correlatos encontrados na literatura. Estes métodos servirão de base para o desenvolvimento, o teste e a comparação de possíveis estratégias de solução, baseadas em heurísticas clássicas e em meta-heurísticas.

ABSTRACT

This work describes a doctoral research in progress which deals with a vehicle routing problem (VRP) affecting certain Brazilian Air Force transport operations, specially when giving support to remote locations in the Amazon region. The operational conditions, in this case, add to the PRV the possible existence of multiple bases and a heterogeneous fleet, established in advance, besides the classical restrictions of vehicle capacity and autonomy. Since this is a set of restrictions yet to be explored, the importance and the characterization of the problem are presented, followed by the citation of the solution methods commonly found in the literature regarding related problems. These methods will serve as a basis for the design, the test and the comparison of possible solution strategies, based in classical heuristics and in meta-heuristics.

1. INTRODUÇÃO

Conforme constatado por diversos pesquisadores, o problema de roteirização de veículos (PRV) é de grande importância para o gerenciamento das atividades de distribuição, e, por isso, tornou-se um dos mais estudados problemas de otimização combinatória (Cordeau *et al.*, 2002). Mesmo em sua forma padrão, o PRV pode ser classificado como *NP*-difícil (do inglês “*NP-hard*”), o que significa que possui uma ordem de complexidade exponencial (Bodin *et al.*, 1983).

Os problemas reais de roteirização, no entanto, estão sujeitos a conjuntos de condições de contorno que, com frequência, são mais restritivos que o do formato padrão do PRV. Schrage (1981) cita, entre outros condicionantes, janelas de tempo, capacidade multidimensional e divisão de pedidos.

O problema abordado neste trabalho representa uma situação real que é experimentada em diversas ocasiões pela Força Aérea Brasileira, principalmente durante operações de socorro na região amazônica. Esse tipo de operação, com frequência, requer a utilização de aviões e helicópteros de diversos tipos (frota heterogênea), operando a partir de bases separadas (múltiplos depósitos) e atendendo pontos isolados na mata, onde não há meios para efetuar-se o reabastecimento das aeronaves. Nestes casos, o problema pode ser abreviado por PRVMDHET, e deve ser solucionado de forma rápida e eficaz.

2. MÉTODOS DE SOLUÇÃO

2.1. Solução do PRV

Os métodos de solução do PRV podem ser exatos, que fornecem uma solução ótima, ou aproximados, também chamados de “heurísticos”. Por ser um problema *NP*-difícil, as soluções heurísticas são preferidas (Bodin *et al.*, 1983). Cunha (1997) propõe a classificação dos métodos de solução em três categorias:

- métodos exatos;
- métodos heurísticos (métodos aproximados tradicionais); e
- métodos “emergentes” (métodos aproximados baseados em sistemas especialistas ou em métodos de busca ou iterativos).

Ainda segundo Bodin *et al.* (1983), os métodos exatos para solução do PRV incluem técnicas de “branch-and bound”, programação dinâmica e algoritmos de planos de corte.

Laporte e Semet (2000) descrevem as heurísticas tradicionais de solução, e o modo como operam: métodos construtivos, em duas fases e de melhorias.

Por sua vez, Cordeau *et al.* (2002) e Talbi (2002) classificam as heurísticas emergentes, ou “meta-heurísticas”, de acordo com o seu princípio básico de funcionamento: busca local, busca na população (*population search*) e híbridas.

Todos esses métodos já foram utilizados na solução, ótima ou aproximada, de diversas variações do PRV padrão. Não foi encontrada, porém, nenhuma aplicação ao conjunto particular de restrições que caracterizam o PRVMDHET. No entanto, há três variantes clássicas do PRV que apresentam condicionantes próximas às do problema descrito: o PRV com múltiplos depósitos (PRVMD), o PRV com frota heterogênea (PRVHET) e o problema de dimensionamento e alocação de frota (*fleet size and mix VRP*). A análise de soluções escolhidas para esses problemas correlatos pode sugerir possíveis linhas de ação na tentativa de solução do PRVMDHET.

2.2. Solução de Problemas Correlatos ao PRVMDHET

O PRV com múltiplos depósitos (PRVMD) pode apresentar algumas variações, relacionadas, por exemplo, a um possível limite no número de veículos em cada depósito ou à própria consideração quanto ao número e localização dos depósitos. Dentre várias soluções propostas, podem ser citados os trabalhos de Wu, Low e Bai (2002), com *simulated annealing*, de Cordeau, Gendreau e Laporte (1997), com busca tabu, e de Salhi e Nagy (1999), com heurísticas de inserção de agrupamentos (*clusters*). Em seu trabalho, Cordeau, Gendreau e Laporte (1997) fazem uma revisão bibliográfica sobre o PRVMD.

O PRV com frota heterogênea (PRVHET) também pode apresentar variações, ao considerar, por exemplo, a exigência de janelas de tempo e as características de custos de cada tipo de veículo. Dentre outros, os seguintes autores trabalharam neste problema: Gendreau *et al.* (1999), com busca tabu, Taillard (1996), com geração de colunas, Gambardella *et al.* (2003), com colônia de formigas, e Liu e Shen (1999), com uma adaptação da heurística de economias. Taillard (1996) apresenta, em seu artigo, uma revisão bibliográfica sobre o PRVHET.

Por sua vez, o problema de dimensionamento e alocação de frota (*fleet size and mix VRP*) busca determinar, de forma seqüencial ou simultânea, a melhor composição para a frota e a melhor utilização da frota escolhida. Podem ser citados os trabalhos de Salhi e Sari (1997), com heurística composta a partir de métodos tradicionais, de Renaud e Boctor (2002), com um algoritmo baseado na heurística de varredura, e de Wassan e Osman (2002), com busca tabu. Wassan e Osman (2002) incluem, em seu trabalho, uma revisão dos métodos já utilizados na solução do problema de dimensionamento e alocação de frota.

3. SOLUÇÃO DO PRVMDHET

Como visto, as soluções apresentadas para problemas correlatos ao PRVMDHET envolvem heurísticas pertencentes a todas as três categorias propostas por Cunha (1997), cada uma delas com seu próprio comportamento no tocante aos quatro critérios de comparação propostos por Cordeau *et al.* (2002), exatidão, velocidade, simplicidade e flexibilidade. Dessa forma, torna-se interessante abordar o PRVMDHET através de diferentes heurísticas, de forma a avaliar seus desempenhos neste problema específico.

Nenhum dos métodos exatos será escolhido, devido à inviabilidade atual de sua utilização em problemas práticos (Cordeau *et al.*, 2004). Para possibilitar uma comparação abrangente, e permitir uma eventual utilização de heurísticas híbridas, escolher-se-á um método tradicional e duas meta-heurísticas, uma baseada em busca local e outra baseada em busca na população.

Devido às suas simplicidade e facilidade de implementação (Cordeau *et al.*, 2002), a heurística das economias de Clarke e Wright pode ser uma opção apropriada de método tradicional. Como essa heurística foi inicialmente proposta para o PRV padrão, pretende-se adaptá-la ao PRVMDHET. Isso fornecerá um método de rápida execução, cujos resultados fornecerão um limite superior aos valores das soluções, assim como um conjunto de soluções iniciais a ser usado pelas duas meta-heurísticas.

Vários autores destacam busca tabu como a meta-heurística que tem apresentado os melhores resultados em PRV, e, portanto, ela torna-se a opção indicada de uma meta-heurística baseada em busca local (Cordeau *et al.*, 2002; Gendreau *et al.*, 1998). Finalmente, como afirmam Reimann *et al.* (2004), os algoritmos que implementam a heurística de colônia de formigas estão sendo desenvolvidos de tal forma que já podem ser considerados uma ferramenta poderosa para solução de problemas reais. Dessa forma, colônia de formigas poderá ser utilizada como a meta-heurística baseada em busca na população.

A escolha de uma meta-heurística baseada em busca local e outra baseada em busca na população resultou de estudos que indicam que heurísticas baseadas em busca na população apresentam melhor desempenho na exploração do espaço amostral, identificando áreas promissoras, enquanto que as heurísticas baseadas em busca local são mais eficientes na exploração dessas áreas, ou seja, na obtenção de ótimos locais (Blum e Roli, 2001; Talbi, 2002). Uma consequência natural, portanto, será a tentativa de desenvolvimento de uma quarta heurística, híbrida, que explore as melhores características de cada uma das heurísticas implementadas.

Os testes comparativos entre as heurísticas escolhidas serão realizados em adaptações de instâncias clássicas dos problemas correlatos e, caso necessário, em novas instâncias a ser criadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blum, C. e A. Roli (2001) *Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison*. Bruxelas: Institute de Recherches Interdisciplinaires et de Développements en Intelligence Artificielle. 43p. (Relatório Técnico TR/IRIDIA/2001-13).
- Bodin, L.; B. Golden; A. Assad e M. Ball (1983) Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art. *Computers & Operations Research*, v. 10, n. 2, p. 289-315.
- Cordeau, J.-F.; M. Gendreau e G. Laporte (1997) A Tabu Search Heuristic for Periodic and Multi-Depot Vehicle Routing Problems. *Networks*, v. 30, p. 105-119.
- Cordeau, J.-F.; M. Gendreau; A. Hertz; G. Laporte e J.-S. Sormany (2004) *New Heuristics for the Vehicle Routing Problems*. Montreal: Groupe d'Études et de Recherche en Analyse des Décisions. 18p. (Relatório Técnico G-2004-33).
- Cordeau, J.-F.; M. Gendreau; G. Laporte; J.-Y. Potvin e F. Semet (2002) A Guide to Vehicle Routing Heuristics. *Journal of the Operational Research Society*, v. 53, p. 512-522.
- Cunha, C. B. (1997) *Uma Contribuição para o Problema de Roteirização de Veículos com Restrições Operacionais*. São Paulo: EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes. 222p. (Tese de Doutorado).
- Gambardella, L. M.; A. E. Rizzoli; F. Oliverio; N. Casagrande; A. V. Donati, R. Montemanni e E. Lucibello (2003) Ant Colony Optimization for Vehicle Routing in Advanced Logistics Systems. In: *The International Workshop on Modeling & Applied Simulation*, MAS2003, Itália.
- Gendreau, M.; G. Laporte e J.-Y. Potvin (1998) *Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem*. Montreal: Groupe d'Études et de Recherche en Analyse des Décisions. 25p. (Relatório Técnico G-98-52).
- Gendreau, M.; G. Laporte; C. Musaraganyi e É. D. Taillard (1999) A Tabu Search Heuristic for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, v. 26, p. 1153-1173.
- Laporte, G. e F. Semet (1999) *Classical Heuristics for the Vehicle Routing Problem*. Montreal: Groupe d'Études et de Recherche en Analyse des Décisions. 19p. (Relatório Técnico G-98-54).
- Liu, F.-H. e S.-Y. Shen (1999) A Method for Vehicle Routing Problem with Multiple Vehicle Types and Time Windows. In: *Proceedings of the National Science Council: Part A: Physical Science and Engineering*, China, v. 23, n. 4, p. 526-536.
- Reimann, M.; K. Doerner e R. F. Hartl (2004) D-Ants: Savings Based Ants Divide and Conquer the Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, v. 31, p. 563-591.
- Renaud, J. e F. F. Boctor (2002) A Sweep Based Algorithm for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, v. 140, n. 3, p. 618-628.
- Salhi, S. e G. Nagy (1999) A Cluster Insertion Heuristic for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Backhauling. *Journal of the Operational Research Society*, v. 50, p. 1034-1042.
- Salhi, S. e M. Sari (1997) A Multi-Level Composite Heuristic for the Multi-Depot Vehicle Fleet Mix Problem. *European Journal of Operational Research*, v. 103, p. 95-112.
- Schrage, L. (1981) Formulation and Structure of More Complex/Realistic Routing and Scheduling Problems. *Networks*, v. 11, p. 229-232.
- Taillard, É. D. (1996) *A Heuristic Column Generation Method for the Heterogeneous Fleet VRP*. Montreal: Université de Montreal, Centre de Recherche sur les Transports. 13p. (Publicação Técnica CRT-96-03).
- Talbi, E.-G. (2002) A Taxonomy of Hybrid Metaheuristics. *Journal of Heuristics*, v. 8, n. 5, p. 541-564.
- Wassan, N. A. e I. H. Osman (2002) Tabu Search Variants for the Mix Fleet Vehicle Routing Problem. *Journal of the Operational Research Society*, v. 53, p. 78-782.
- Wu, T.-H.; C. Low e J.-W. Bai (2002) Heuristic Solutions to Multi-Depot Location-Routing Problems. *Computers & Operations Research*, v. 29, p. 1393-1415.

Endereço dos Autores:

Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Caixa Postal 61548
CEP 05424-970 – São Paulo – SP
E-mail: ubonasse@terra.com.br
ngualda@usp.br