

DANILO DA SILVA CAMPOS

**INTEGRAÇÃO DOS PROBLEMAS DE
CARREGAMENTO E ROTEAMENTO DE VEÍCULOS COM
JANELA DE TEMPO E FROTA HETEROGÊNEA**

**São Paulo
2008**

DANILO DA SILVA CAMPOS

**INTEGRAÇÃO DOS PROBLEMAS DE
CARREGAMENTO E ROTEAMENTO DE VEÍCULOS
COM JANELA DE TEMPO E FROTA HETEROGÊNEA**

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção do título de Doutor em
Engenharia

**São Paulo
2008**

DANILO DA SILVA CAMPOS

**INTEGRAÇÃO DOS PROBLEMAS DE
CARREGAMENTO E ROTEAMENTO DE VEÍCULOS
COM JANELA DE TEMPO E FROTA HETEROGÊNEA**

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção do título de Doutor em
Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Produção

Orientador:
Prof Dr Hugo T. Yoshida Yoshizaki

São Paulo
2008

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus pais:
Inez e José Geraldo

AGRADECIMENTOS

Aos amigos da Klabin: Reinoldo Poernbacher, José Geraldo Antunes, Gabriella Michelucci e Sérgio Joveleviths e por terem confiado em nosso trabalho e pelo apoio para que este se transformasse em uma realidade na prática.

Aos amigos da Neolog. Em especial, ao Rui Hayashi e ao Carlos Giordano pelo apoio computacional e dedicação. Ao Alexandre Papassoni, Leonardo Freitas e Marina Bianchi, pelo suporte sempre que precisei. A todos desta empresa que sempre me apoiaram direta ou indiretamente.

Ao professor Hugo Yoshizaki por ter me aceito no programa de doutorado e me apoiado ao longo deste período. Em especial, agradeço suas dicas e orientações para estruturação e organização desta tese.

Ao professor Reinaldo Morabito por ter me orientado nos primeiros passos do problema estudado e estimulado a vivenciar o mundo dos “cortadores e empacotadores”.

Aos professores Vinícius Armentano e Marcos Arenales pelas análises e comentários na qualificação, que em muito me ajudaram a melhorar o nível deste trabalho.

Ao colega Olinto Araújo, que apesar do pouco me conhecer me ajudou bastante pela internet com envio de dados e dicas sobre seu trabalho.

"Enquanto houver gelo, há esperança"
(anônimo)

RESUMO

Este trabalho aborda um problema ainda não explorado na literatura denominado 3L-FSMVRPTW (*three-dimensional loading fleet sizing and mix vehicle routing problem with time windows*), que compreende resolver simultaneamente o roteamento e carregamento tridimensional de veículos considerando frota heterogênea e janela de tempo. Foi desenvolvido um algoritmo específico para resolver o problema, denominado 3DC. Neste algoritmo foram introduzidas algumas inovações, entre elas, um novo operador de busca local (*k-IntensiveSwap*) e uma nova heurística de carregamento de contêiner. O algoritmo foi comparado aos melhores resultados disponíveis na literatura para problemas particulares ao apresentado. Houve bom desempenho no caso do CLP (*container loading problem*), bom resultado na redução do tamanho de frota no caso do 3L-VRP (*three-dimensional loading vehicle routing problem*) e desempenho superior ao problema mais complexo estudado, o 3L-VRPTW (*three-dimensional loading vehicle routing problem with time windows*). Finalmente, apresentou-se um conjunto de avaliação, instâncias e soluções, para o problema completo com frota heterogênea e janela de tempo.

Palavras-chave: Problema de roteamento de veículos. Problema de carregamento de contêineres. Otimização. Heurística. Busca local.

ABSTRACT

This work presents a problem not treated yet on the literature referenced as 3L-FSMVRPTW (*three-dimensional loading fleet sizing and mix vehicle routing problem with time windows*), which deals simultaneously with vehicle routing and its three-dimensional loading considering heterogeneous fleet and time windows. The algorithm developed for the specific problem is called 3DC. This algorithm introduces a new local search operator called *k-IntensiveSwap* and a new container loading heuristic. The results are compared with the best-known results from literature for particular problems embedded on the general problem presented. The quality of solution was good in comparison other methods for CLP (*container loading problem*), it has good results in terms of reduction fleet sizing in the case of 3L-VRP (*three-dimensional loading vehicle routing problem*) and as for 3L-VRPTW (*three-dimensional loading vehicle routing problem with time windows*) the performance was very superior. Finally, it is presented a solution set as benchmark for future comparison with the general problem, with heterogeneous fleet.

Palavras-chave: Vehicle routing problem. Container loading problem. Optimization. Heuristics. Local search.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: roteiro de entrega somente considerando peso..... | 4 |
| Figura 2: carga com 10 caixas (sem tombamento)..... | 5 |
| Figura 3: carga com 15 caixas (com possibilidade de tombamento)..... | 5 |
| Figura 4: nova solução considerando as dimensões de veículo e carga | 6 |
| Figura 5: interpretação do algoritmo de economias | 30 |
| Figura 6: combinação de tipo I com tipo II..... | 33 |
| Figura 7: combinação de tipo II com tipo II..... | 34 |
| Figura 8: Operador 2-opt - os arcos $(i, i+1)$ e $(j, j+1)$ são trocadas por (i, j) e $(i+1, j+1)$, dessa forma é invertida a direção dos clientes entre $i+1$ e j | 41 |
| Figura 9: operador Or-opt - os clientes i e $i+1$ são realocados para serem atendidos entre os clientes j e $j+1$. Isto é promovido pela troca de $(i-1, i)$, $(i+1, i+2)$ e $(j, j+1)$ por $(i-1, i+2)$, (i, j) e $(i+1, j+1)$, preservando a orientação da rota. | 42 |
| Figura 10: operador 2-opt* - os clientes atendidos depois de i são realocados para serem atendidos após j ; e os clientes atendidos depois de j serão atendidos após i . Esta troca se dá substituindo $(i, i+1)$ e $(j, j+1)$ por $(i, j+1)$ e $(j, i+1)$ | 42 |
| Figura 11: operador Relocate - Os arcos $(i-1, i)$, $(i, i+1)$ e $(j, j+1)$ são substituídas $(i-1, i+1)$, (j, i) e $(i, j+1)$, ou seja, o cliente i foi retirado de uma rota e realocado em outra..... | 43 |
| Figura 12: operador Exchange - os arcos $(i-1, i)$, $(i, i+1)$, $(j-1, j)$ e $(j, j+1)$ são substituídas por $(i-1, j)$, $(j, i+1)$, $(i-1, i)$ e $(i, j+1)$. Dois clientes de rotas diferentes são simultaneamente trocado entre elas..... | 44 |
| Figura 13: operador CROSS-Exchange - o segmento $i-k$ da rota superior e o $j-i$ da rota inferior são permutados entra as duas rotas, recombinação de trechos. Note que as orientações das duas rotas são preservadas. | 44 |
| Figura 14: operador GENI-exchange - realocação de um cliente de uma rota em outra próxima. | 45 |
| Figura 15: construção por camadas verticais | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 16: escolha do tipo de caixa para uma nova camada | 47 |
| Figura 17: escola das dimensões de largura e altura e quantidade de caixas | 48 |
| Figura 18: escolha do tipo de caixa para espaços que sobraram na camada..... | 49 |
| Figura 19: escolha de novo espaço | 50 |
| Figura 20: criação de novos espaços..... | 50 |
| Figura 21: nomenclatura do algoritmo de Gehring et al. (1990)..... | 52 |
| Figura 22: definição dos espaços de Gehring et al. (1990)..... | 53 |
| Figura 23: espaços residuais..... | 54 |
| Figura 24: controle dos espaços vazios..... | 54 |
| Figura 25: posições possíveis, onde A , L, C correspondem a altura, largura e comprimento, respectivamente | 55 |
| Figura 26: Representação de uma caixa em um contêiner..... | 57 |
| Figura 27: Representação de duas caixas em um contêiner | 58 |
| Figura 28: estrutura do algoritmo de Ngoi et al. (1994) | 59 |
| Figura 29: carga montada com 3 entregas..... | 61 |
| Figura 30: espaço disponível para carregamento | 62 |
| Figura 31: espaço inacessível – parte 1..... | 62 |
| Figura 32: espaço inacessível – parte 2..... | 62 |
| Figura 33: fluxograma principal do algoritmo proposto – 3DC..... | 66 |
| Figura 34: solução inicial recebida pelo operador k-IntensiveSwap | 69 |
| Figura 35: escolha dos arcos a serem removidos | 70 |
| Figura 36: cortes conectados e desconectados | 71 |
| Figura 37: possibilidade de reconexão do corte 3-4, pela extremidade do nó 4 | 72 |
| Figura 38 possibilidade de reconexão do corte 3-4, pela extremidade do nó 3 | 72 |
| Figura 39: resultado da reconexão do corte 3-4 | 73 |
| Figura 40: reconexão do nó 10..... | 73 |

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

