

Pesquisa Operacional Aplicada ao Roteamento de Veículos

Guilherme Fabiano¹, Marcela Aniceto dos Santos², Pedro Augusto Munari Junior³

1. Estudante de IC-FAPESP do Depto. de Engenharia de Produção - UFSCar [*guilherme_fabiano12@hotmail.com](mailto:guilherme_fabiano12@hotmail.com)
2. Estudante de IC do Depto. De Matemática - UFSCar
3. Docente do Depto. de Engenharia de Produção - UFSCar, SÃO CARLOS /SP

Palavras Chave: *Otimização, Roteamento, Programação Linear.*

Introdução

A Pesquisa Operacional (PO) é uma abordagem científica que permite solucionar problemas. Este projeto preocupa-se com a PO nos Problemas de Roteamento de Veículos. Em linhas gerais, tal problema busca projetar as rotas de menor custo, de forma que as demandas dos clientes sejam atendidas partindo de depósitos.

Diante do apresentado, este projeto de pesquisa estuda problemas clássicos de roteamento. Assim, tem como objetivo final estudar e propor formulações para o Problema de Roteamento de Veículos para o caso no qual há múltiplos entregadores.

Resultados e Discussão

No decorrer do projeto, houve o aprendizado e utilização de softwares de otimização, para a solução de diferentes aplicações referentes ao tema em estudo. Diante disso, conseguiu-se implementar formulações matemáticas em linguagem OPL capazes de solucionar diversas aplicações de problema de roteamento de veículos, de forma a considerar características chaves presentes em modelos reais tais como as janelas de tempo. A seguir, apresenta-se uma das aplicações elaboradas:

Uma fábrica de laticínios em São Carlos fornece produtos para 5 supermercados na cidade, diariamente. A **Tabela 1** apresenta a demanda de cada supermercado (em litros), juntamente com os custos médios de deslocamento (em Reais) entre a fábrica e os supermercados:

Tabela 1. Custos de Transporte em Reais.

De/Para	Fábrica	Carrefour	União Serv	Extra	Dotto	Cogeb	Demanda (L)
Fabrica	-	12	9	17	13	10	-
Carrefour	14	-	5	17	17	19	310
União Serv	10	4	-	13	11	15	220
Extra	16	16	12	-	7	10	180
Dotto	9	18	14	11	-	6	290
Cogeb	11	20	16	14	9	-	370

Cada um dos supermercados possui um horário para receber os produtos, e um tempo que dura a execução das entregas, como apresentado na **Tabela 2**.

Tabela 2. Janelas de tempo dos supermercados.

Supermercados	Período de Entrega (h)	Tempo de Serviço(h)
Carrefour	10:00 - 13:00	0.5
União Serv	8:30 - 10:30	0.8
Extra	8:30 - 11:30	1.0
Dotto	9:00 - 10:30	1.25
Cogeb	10:00 - 14:00	0.75

A fábrica possui 3 caminhões similares com capacidade de 1000 L cada um, os quais começam as entregas às 8hs. O tempo de percurso entre os supermercados é proporcional a distância e, assume-se uma velocidade fictícia de 60 km/h. Deseja-se encontrar a melhor forma de atender aos pedidos dos supermercados (dentro dos tempos permitidos) de forma a minimizar os gastos com transporte.

Fez-se o modelo algébrico apresentado na Figura 1.

Figura 1 Modelo Algébrico da Aplicação

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a rota visita o nó } i \text{ e vai para o nó } j \text{ imediatamente,} \\ 0, & \text{caso contrário,} \end{cases}$$

u_i : demanda total atendida até o nó i , $i = 1, \dots, n$.

w_i : instante que o serviço é iniciado no nó i , $i = 0, \dots, n + 1$.

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} c_{ij} x_{ij}, \\ \text{s.a} \quad & \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} x_{ij} = 1, & i = 1, \dots, n, \\ & \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq h}}^n x_{ih} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq h}}^{n+1} x_{hj}, & h = 1, \dots, n, \\ & u_j \geq u_i + d_j x_{ij} + Q(x_{ij} - 1) & i = 0, \dots, n, j = 1, \dots, n, i \neq j, \\ & \sum_{j=1}^{n+1} x_{0j} \leq K, \\ & \sum_{i=0}^n x_{i,n+1} \leq K, \\ & \sum_{j=1}^{n+1} x_{0j} = \sum_{i=0}^n x_{i,n+1}, \\ & x_{ij} \in \{0, 1\}, & i, j = 0, \dots, n + 1, \\ & 0 \leq u_i \leq Q, & i = 1, \dots, n + 1, \\ & u_0 = 0, \\ & a_i \leq w_i \leq b_i, & i = 0, \dots, n + 1, \\ & w_j \geq w_i + (t_{ij} + s_i)x_{ij} + M_{ij}(x_{ij} - 1) & i = 0, \dots, n, j = 1, \dots, n + 1, \\ & w_0 = 0. \end{aligned}$$

Tal problema foi resolvido em IBM CPLEX Optimization Studio e, obteve-se valor ótimo 68. Para obter esse custo, são utilizados 2 caminhões e, as rotas são:

Depósito → União Serv → Carrefour → Depósito
 Depósito → Extra → Dotto → Cogeb → Depósito

Conclusões

Percebe-se que a Pesquisa Operacional e mais especificamente o Roteamento de Veículos é de grande valia para as organizações, pois auxilia no planejamento, no processo de tomada de decisões, na redução dos custos e maximização da receita.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo- FAPESP.