

PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS E APLICAÇÕES.

VEHICLE ROUTING PROBLEMS AND APPLICATIONS

RESUMO

Luciene Aparecida de Oliveira Campos
Luciene.oliveiracampos@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Glaucia Maria Bressan
glauciabressan@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Os gastos com transporte e distribuição de produtos de uma fábrica para seus locais de destino representam, geralmente, a uma importante parcela dos custos totais de produção. Desta forma, a busca por técnicas que reduzam esses custos por meio de um processo de otimização, se torna indispensável. Em vista disso, o objetivo deste trabalho consiste no estudo de modelos matemáticos e uma importante área de pesquisa na área de otimização, como os problemas de roteamento de veículos, utilizando programação linear, e suas diversas aplicações no setor produtivo e tecnológico, com o intuito de, a partir desses estudos, aplicá-los em uma situação real de um setor produtivo que necessite transportar seus produtos para centros consumidores. Neste trabalho, a coleta de dados será feita em um setor produtivo da região Oeste do estado do Paraná e os resultados serão comparados por meio das soluções obtidas da heurística clássica de Clarke & Wright (C&W), em suas versões Paralelas e Sequencial. Pretende-se responder as questões sobre a melhor rota a ser traçada de modo que minimize os custos do transporte de cada trecho, auxiliando, desta forma, na tomada de decisão referente à estratégia de roteamento de veículos.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização Linear. Problemas de Roteamento de Veículos. Heurística.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

Expenses with transportation and distribution of products from a factory to their destination usually represent the largest share of total production costs. Therefore, the search for techniques that reduce these costs using an optimization process, becomes indispensable. In this scenario, the goal of this work is to study mathematical models and an important area of research in the optimization, such as vehicle routing problems, by using linear programming, and its various applications in the productive and technological sector, aiming to apply them in a real situation of a productive sector that needs to transport its products to consumer centers. In this work, the data collection will be done in a productive sector of the western region of the state of Paraná and the results will be compared from the solutions obtained by the classical heuristic of Clarke and Wright (C&W), and its Parallel and Sequential versions. It is intended to answer the questions about the best route to be drawn such as the transportation costs of each segment be minimized, thus helping in the decision making that corresponds to the vehicle routing strategy.

KEYWORDS: Linear Optimization. Vehicle Routing Problem. Heuristics.

INTRODUÇÃO

O aumento na exigência dos mercados, vinculado à competitividade entre as empresas, faz com que haja uma busca constante por melhorias no desempenho operacional, para aproveitar ao máximo os recursos disponíveis de forma a minimizar, principalmente, os custos logísticos do processo produtivo. É cada dia mais importante ter uma operação que atenda seus clientes de maneira satisfatória, garantindo um baixo custo para o aumento da rentabilidade e um nível de serviço adequado e diferenciado.

Vários estudos e referências analisadas mostram que a operação de movimentação de cargas absorve de um a dois terços destes custos logísticos, implicando na busca constante por melhorias na execução da atividade de transporte (BALLOU, 1985). Entre alguns mecanismos utilizados nesta otimização, destaca-se a roteirização de veículos, que desempenha um papel central no campo da logística e da distribuição física (BREMENKAMP et al., 2016).

A partir da temática, o principal objetivo deste trabalho é estudar problemas de otimização linear e logística, como os problemas de roteamento de veículos e resolvê-los utilizando a heurística clássica de Clarke e Wright e suas versões Paralelas e Sequencial, em seguida, aplicar os modelos a um exemplo de setor produtivo que necessite transportar seus produtos para centros consumidores.

Os Problemas de Roteamento de Veículos possuem um número grande de aplicações práticas, pois implica em uma série de situações reais que afetam a indústria, o comércio, o setor de serviços, a saúde, e o lazer. O objetivo da logística é levar serviços ou produtos a pontos de consumo, a partir de pontos de suprimento. As demandas podem estar localizadas nos arcos ou nos vértices de uma rede de transportes. A partir da construção do sistema de roteamento, outras decisões devem ser tomadas, sobre o número de rotas, números de veículos, localizações dentre outros. Desta forma, otimizar o processo de roteamento diminui os custos de transporte e contribui para a agilidade da distribuição de produtos e serviços. A escolha da Heurística de Clarke e Wright como método de resolução do problema proposto neste trabalho, é baseado no fato de apresentar bons resultados na literatura para obtenção de soluções para problemas de roteamento de veículos, além de possibilitar a inclusão de restrições de janelas de tempo e restrições de capacidades dos veículos, presentes no problema.

PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

Uma das formulações mais utilizadas como base a diversos métodos de solução é apresentada por FISHER E JAIKUMAR (1981), conforme a seguir. As restrições (3.1.1) asseguram que um veículo não visite mais de uma vez um cliente. As restrições (3.1.2) garantem que o depósito recebe uma visita de todos os veículos. As restrições (3.1.3) obrigam que a capacidade dos veículos não seja ultrapassada. As restrições (3.1.4) garantem que os veículos não param suas rotas em um cliente. As restrições (3.1.5) são as tradicionais restrições de eliminação de *subtours*.

$$(PRV) \text{ Minimizar } z = \sum_{i,j} \left(c_{ij} \sum_{i,j} x_{ijk} \right)$$

sujeito a:

$$\sum_k y_{ik} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.1.1)$$

$$\sum_k y_{ik} = m, \quad i = 1 \quad (3.1.2)$$

$$\sum_i q_i y_{ik} \leq Q_k, \quad k = 1, \dots, m \quad (3.1.3)$$

$$\sum_j x_{ijk} = \sum_j x_{ijk} = y_{ik}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (3.1.4)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subseteq \{2, \dots, n\} \quad k = 1, \dots, m \quad (3.1.5)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (3.1.6)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m \quad (3.1.7)$$

As seguintes notações são adotadas:

x_{ijk} : variável binária que assume valor 1 quando o veículo k visita o cliente j imediatamente após o cliente i , 0 em caso contrário.

y_{ik} : variável binária que assume valor 1 se o cliente i é visitado pelo veículo k , 0 em caso contrário.

q_i : demanda do cliente i .

Q_k : capacidade do veículo K .

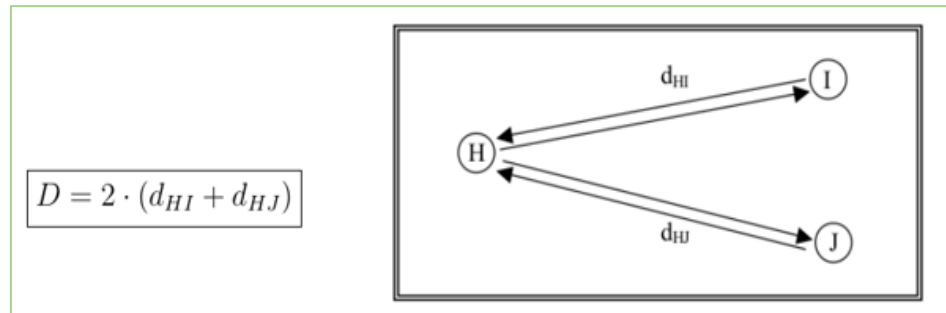
c_{ij} : custo de percorrer o trecho que vai do cliente i ao j .

PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

O método de resolução a ser utilizado neste trabalho é chamada heurística de Clarke 1964, um método heurístico do tipo *saving* (economia), que busca substituir arcos mais caros dentro da rota por arco de menor custo, de forma a criar uma melhor rotado, considerando, como principais restrições, o tempo de rota e a capacidade do veículo e trazendo como solução uma sequência de visitas que devem ser seguidas.

Inicialmente, considere a existência de n pontos a serem visitados (coleta), partindo o veículo do depósito H e retornando ao mesmo após um ciclo. De momento, admita que uma solução (*a priori*) seria a existência de n veículos disponíveis para realizar estas viagens. Cada veículo viaja do armazém até um cliente e retorna no fim do expediente. A Figura 1 mostra esta relação para 3 nós (2 clientes), sendo o nó H representando a empresa e os nós I e J os clientes de coleta. A distância total percorrida pelos dois veículos é apresentada também na Figura 1. Agora, imagine que se possa eliminar um veículo do roteiro acima, de forma que apenas um veículo percorra os três nós do problema. Assim, fazendo o veículo percorrer o trecho $H - I - J$ e retornando a H no final, há uma economia de distância percorrida, pois ele deixa de viajar um trecho IH e um trecho HJ .

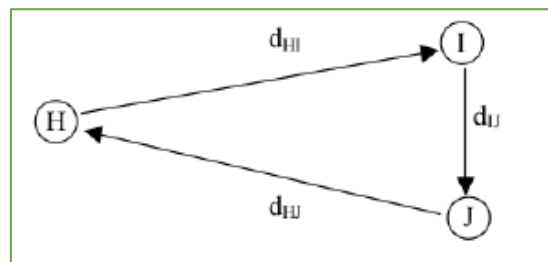
Figura 1 – Três Nós Percorridos Por 2 Veículos.



Fonte: Fonte: Goldberg & Luna (2005)

No entanto, ele deve percorrer um trecho a mais IJ (ver Figura 2). Desta forma, a economia gerada por este novo percurso é representada por: $S_{ij} = C_{Hi} + C_{Hj} - C_{ij}$. A solução da heurística de Clarke e Wright vem através da computação destas economias. As economias representam o quanto a distância ou o custo podem ser reduzidos, agrupando nós (I e J no exemplo) e criando a rota $H - I - J - H$, que pode ser destinada a um veículo, conforme Figura 2.

Figura 2 – Economia do novo percurso.



Fonte: Fonte: Goldberg & Luna (2005)

Para uma rede de n nós, computam-se as economias para cada par de nós, ordenam-se as economias obtidas em ordem decrescente, e constroem-se um roteiro ligando estes pares até concluir toda rota.

Passo 1: Estabelecer como solução inicial para n nós, a formação de n rotas partindo e chegando ao depósito (esta solução é a mais custosa).

Passo 2: Computar as economias, S_{ij} ligando todos os nós i e j : $S_{ij} = C_{Hi} + C_{Hj} - C_{ij}$, para i e $j =$ nós $2, 3, \dots, n$. Onde c representa o custo de percorrer o trecho ij , podendo ser a distância também; e H representa o depósito.

Passo 3: Ordenar as economias obtidas em ordem decrescente, formando uma listagem de pares de nós, com suas respectivas economias.

Existem duas versões do algoritmo: Versão Paralela, que efetua a melhor união factível, e a Versão Sequencial, que realiza a extensão máxima de uma rota. O procedimento da versão paralela da heurística de Clarke & Wright pode ser entendido por meio do Algoritmo 1 (GOLDBARG & LUNA, 2005) e a versão sequencial da heurística de Clarke e Wright, por meio do Algoritmo 2 (GOLDBARG & LUNA, 2005).

INÍCIO

Ler $G = (N, A), c_{ij}$. { *Nó 1 é o depósito central do roteamento* }

Inicializar Rota := $(x_1 - x_s - x_1)$

Calcular a economia $S_{ij} = c_{1i} + c_{1j} - c_{ij}$ para todo par de clientes i e j .

Onde c representa o custo de percorrer o trecho ij , podendo ser a distância também. { *Nós em G* }

Ordenar as economias em ordem não crescente e colocá-las em uma lista

Enquanto existirem ligações na lista, **Faça** { *Iniciando pelo topo da lista* }

Se a união de i e j respeita as restrições dos problemas, **Faça**

Uma os pontos i e j

Fim Se

Fim Enquanto

FIM

Algoritmo 1: ALGORITMO PARA A VERSÃO PARALELA DE CLARKE & WRIGHT.

INÍCIO

Ler $G = (N, A), c_{ij}$. { *Nó 1 é o depósito central do roteamento* }

Inicializar Rota := $(x_1 - x_s - x_1)$

Calcular a economia $S_{ij} = c_{1i} + c_{1j} - c_{ij}$ para todo par de clientes i e j .

Onde c representa o custo de percorrer o trecho ij , podendo ser a distância também. { *Nós em G* }

Ordenar as economias em ordem não crescente e colocá-las em uma lista

Enquanto existirem ligações na lista, **Faça** { *Iniciando pelo topo da lista* }

Iniciando pela maior economia da lista, **Faça**

Determine a primeira ligação na lista que pode ser utilizada para ser acrescida em um dos dois extremos de **Rota**, aumentando seu comprimento e a retirando da lista; **Se Rota** não pode ser expandida da forma anterior, **Então Escolha** a primeira ligação na lista para iniciar uma nova rota e a retire da lista.

Fim Enquanto

FIM

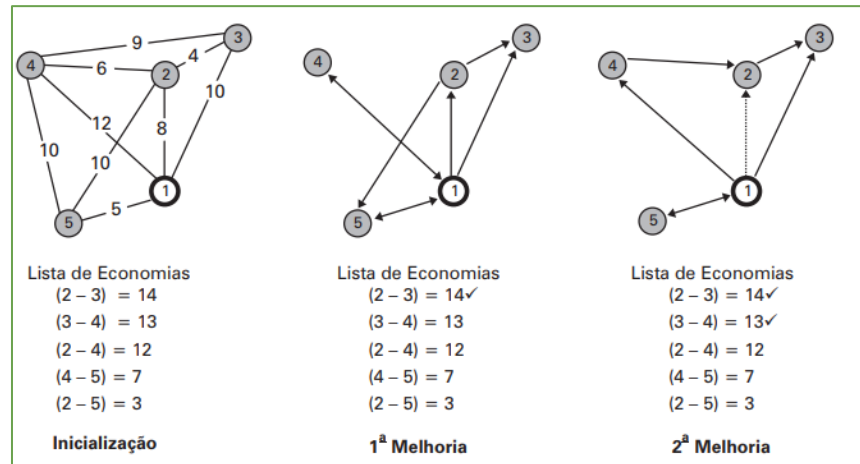
Algoritmo 2: ALGORITMO PARA A VERSÃO SEQUENCIAL DE CLARKE & WRIGHT.

RESULTADOS

Os resultados obtidos são apresentados através de um exemplo numérico da Heurística de Clarke e Wright. Na medida que uma rota vai sendo construída é possível realizar os testes relativos a restrições de capacidade de veículos e, eventualmente, de janelas de tempo, como pode ser visto na Inicialização aplicado a um grafo da Figura 3.

Em relação ao comportamento do algoritmo, este possui a característica de aninhar os clientes nas rotas que vão se formando. Na 1ª Melhoria notamos que o nó 3, após a segunda melhoria, passou à condição de interno (sem ligação direta com o vértice depósito) não sendo mais candidato a melhoria na rota, uma vez que só são testados para a inserção os nós extremos, ou seja, aqueles que se ligam diretamente ao nó central (vértice 1).

Figura 3 – Economia do novo percurso.



Fonte: Goldberg & Luna (2005)

A Heurística de Clarke e Wright, pode ser classificada como uma Heurística Construtiva, por isso encontra-se nesse procedimento variações na forma de expandir as rotas (critério de economia, expansão radical, grupamentos de proximidades etc.) e de construção das rotas (sequencial ou paralelo).

CONCLUSÃO

Modelos matemáticos têm sido amplamente utilizados na otimização de processos operacionais, por apresentarem propostas ao planejamento das tarefas a serem executadas. A programação linear, por sua vez, auxilia na busca por otimização de tempo e recursos, visando a redução de custos e melhorias de resultados, levando em consideração as restrições envolvidas no processo que será otimizado. Para isso, é necessário definir roteiros de veículos que minimizem o custo total, assegurando que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e que sejam atendidas todas as restrições. Neste caso, a otimização de problemas de roteirização estabelece essas ligações para o atendimento das demandas, que podem se apresentar como prestação de serviços, entregas ou coletas, desempenhando um papel central no campo da logística e da otimização.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. **Instructor's Manual Business Logistics Management: planning and control**. Tennessee: Prentice-Hall, 1985.

BREMENKAMP, L. H. et al. Aplicação da heurística de Clarke & Wright para um problema de roteirização de veículos homogêneos em uma distribuidora. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 36., 2016, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABEPRO, 2016.

FISHER, M. L; JAIKUMAR, R. A generalized assignment heuristic for vehicle routing. **Networks**, Wiley Online Library, v. 11, n. 2, p. 109–124, 1981

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: modelos e algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2005.