

Trabalho de Conclusão de Curso

Desenvolvimento de um sistema web para a Associação dos Protetores da Bacia hidrográfica do Rio Gorutuba “Kuruatuba”

Guilherme Rocha Leite

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Bacharelado em Sistemas de Informação

Orientador: Prof.^a Erinaldo Barbosa da Silva
Co-orientador: Thales Francisco Mota Carvalho

18 de agosto de 2021

Sumário

- 1 Motivação
- 2 O Problema de Roteamento de Veículos
- 3 Busca Local Multiobjetivo Baseada em Indicador
- 4 Testes Computacionais
- 5 Conclusão
- 6 Trabalhos Futuros
- 7 Referências Bibliográficas

- 1 Motivação
- 2 O Problema de Roteamento de Veículos
- 3 Busca Local Multiobjetivo Baseada em Indicador
- 4 Testes Computacionais
- 5 Conclusão
- 6 Trabalhos Futuros
- 7 Referências Bibliográficas

Os custos logísticos nas organizações

- Os custos logísticos (estoque, transporte e armazenagem) representam grande parcela dos custos totais das empresas.
- Sua maior parte se concentra no transporte, especialmente no Brasil: 59,8% dos custos logísticos totais (CNT, 2014).
- Fatores agravantes: custos do modal rodoviário, questões de legislação trabalhista e sanitária, bem como reutilização de materiais.

- 1 Motivação
- 2 O Problema de Roteamento de Veículos
- 3 Busca Local Multiobjetivo Baseada em Indicador
- 4 Testes Computacionais
- 5 Conclusão
- 6 Trabalhos Futuros
- 7 Referências Bibliográficas



O Problema de Roteamento de Veículos

- Deste modo, inúmeros esforços são empregados na tentativa de economizar qualquer percentual de custos de transporte
- Entre as diversas pesquisas teóricas e práticas nesse campo, há O Problema de Roteamento de Veículos (VRP, do inglês *Vehicle Routing Problem*)
- O VRP consiste em definir rotas entre um depósito e um conjunto de pontos de entrega que minimize o custo de transporte (Pereira, 2007)
- Cada um destes pontos requer uma quantidade específica de produtos a serem entregues. Cada ponto de entrega é visitado apenas uma vez e por apenas um veículo, o qual possui capacidade limitada (Caric e Gold, 2008b)

O Problema de Roteamento de Veículos Multiobjetivo com Coleta Opcional - MOVRPOP

- Há inúmeras variações do VRP original, as quais refletem as diversas situações encontradas na realidade.
- A variante aqui abordada é derivada do Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas (VRPSPD) (Parragh et al., 2008).
- No VRPSPD os consumidores apresentam demandas de **entrega e também de coleta**. Além disso, ambas as demandas devem ser **atendidas em uma única visita**.
- Neste trabalho a obrigatoriedade do VRPSPD de atender as demandas de coleta é relaxada, **deixando de ser uma restrição e se tornando um objetivo a ser minimizado**, assim como a distância total percorrida.

MOVRPOP - Modelagem Matemática

- $G = (V, A)$ é um grafo completo onde $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_n\}$ é o conjunto de vértices, sendo v_0 o depósito e os demais vértices são consumidores;
- $A = \{(v_i, v_j) : i, j \in V \text{ e } i \neq j\}$ é o conjunto de arestas, onde (v_i, v_j) representa o caminho do vértice v_i ao vértice v_j ;
- $c_{ij} \geq 0$ é um valor associado a cada aresta $A(v_i, v_j)$ e representa o custo para se alcançar o vértice v_j a partir do vértice v_i ;
- cada vértice v_i possui uma demanda não-negativa de entrega (d_i) e coleta (p_i) associada a ele.

MOVRPOP - Modelagem Matemática

- k_{max} é o tamanho da frota de veículos disponíveis com capacidade Q ;
- y_{ij} é a variável de fluxo que representa o somatório das cargas coletadas entre o depósito e o nó v_i (inclusive), dirigido ao nó v_j ,
- z_{ij} é a variável de fluxo que representa o somatório das cargas entregues entre o nó v_i (exclusive) e o depósito, dirigido ao nó v_j

MOVRPOP - Modelagem Matemática

Variáveis de Decisão do problema:

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & , \text{ se a aresta } (v_i, v_j) \text{ faz parte da rota trafegada pelo veículo } k, \\ 0 & , \text{ caso contrário.} \end{cases}$$

$$\ell_j = \begin{cases} 1 & , \text{ se a demanda de coleta do consumidor } v_j \text{ é satisfeita,} \\ 0 & , \text{ caso contrário.} \end{cases}$$

MOVRPOP - Modelagem Matemática

Funções-objetivo:

- Minimização do custo

$$\text{Min } f(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^{k_{\max}} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

- Minimização das coletas não realizadas

$$\text{Min } f(\ell) = \sum_{j=1}^n p_j (1 - \ell_j) \quad (2)$$

MOVRPOP - Modelagem Matemática

- cada vértice deve ser visitado por um único veículo:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^{k_{max}} x_{ij}^k = 1, \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

- a conservação do fluxo deve ser garantida:

$$\sum_{i=0}^n x_{ij}^k - \sum_{i=0}^n x_{ji}^k = 0, \quad j = 0, \dots, n \text{ e } k = 0, \dots, k_{max} \quad (4)$$

- no máximo k_{max} veículos podem ser utilizados:

$$\sum_{j=1}^n x_{0j}^k \leq 1, \quad k = 1, \dots, k_{max} \quad (5)$$

MOVRPOP - Modelagem Matemática

- todas as demandas de entrega devem ser satisfeitas:

$$\sum_{i=0}^n z_{ij} - \sum_{i=0}^n z_{ji} = d_j, \quad \forall j \neq 0 \quad (6)$$

- uma vez que a variável l_j assumir valor 1, a demanda de coleta do consumidor v_j deve ser satisfeita:

$$\sum_{i=0}^n y_{ji} - \sum_{i=0}^n y_{ij} = p_j \ell_j, \quad \forall j \neq 0 \quad (7)$$

- os veículos possuem uma capacidade limite para o transporte de cargas. Esse transporte deve ocorrer através das arestas incluídas na solução:

$$y_{ij} + z_{ij} \leq Q \sum_{k=1}^{k_{max}} x_{ij}^k, \quad i, j = 0, 1, \dots, n \quad (8)$$

MOVRPOP - Modelagem Matemática

- restrição de integralidade das variáveis de decisão:

$$x_{ij}, \ell_j \in \{0, 1\}, \quad i, j = 0, \dots, n \quad (9)$$

- restrição de não-negatividade para fluxo de demandas de coleta:

$$y_{ij} \geq 0, \quad i, j = 0, \dots, n \quad (10)$$

- restrição de não-negatividade para fluxo de demandas de entrega:

$$z_{ij} \geq 0, \quad i, j = 0, \dots, n \quad (11)$$

- 1 Motivação
- 2 O Problema de Roteamento de Veículos
- 3 **Busca Local Multiobjetivo Baseada em Indicador**
- 4 Testes Computacionais
- 5 Conclusão
- 6 Trabalhos Futuros
- 7 Referências Bibliográficas

Características do IBMOLS

- Nem sempre há uma **clara definição do que seja uma boa aproximação** da Fronteira de Pareto
- A qualidade da solução dependerá do contexto do problema e das **preferências do tomador de decisão**
- Embora os algoritmos evolucionários sejam os mais utilizados, é reconhecida a eficiência dos **métodos baseados em busca local**, principalmente em problemas de **otimização combinatória de larga escala** (Basseur, 2007)

Características do IBMOLS

- Isto posto, o presente trabalho utiliza para resolução do MOVRPOP a busca local multiobjetivo baseada em indicador (IBMOLS, do inglês *Indicator-based multiobjective local search*).
- No IBMOLS é utilizado um indicador binário (I) que expressa a preferência do tomador de decisão e **atribui a cada solução um valor** real que reflete a sua qualidade
- A seguir é apresentado a versão adotada do algoritmo do IBMOLS, proposta por (Assis, 2013)

Entrada: N (Tamanho da População), I (Indicador Binário)

```
1:  $PO \leftarrow \emptyset$ ;  
2: repetir  
3:    $P \leftarrow \text{População Inicial}(N)$ ;  
4:    $\text{Aptidao}[] \leftarrow \text{Calcular Aptidão}(P, I)$   
5:    $s_w \leftarrow \text{Menor}(\text{Aptidao})$ ;  
6:   para todos solução  $s \in P$  fazer  
7:      $\text{continue} \leftarrow \text{TRUE}$ ;  
8:     enquanto  $\text{continue}$  fazer  
9:        $s' \leftarrow \text{Perturbação}(s)$ ;  
10:       $s'' \leftarrow \text{Busca Local}(s')$ ;  
11:      se  $s = s''$  então  
12:         $s'' \leftarrow s'$ ;  $\text{continue} \leftarrow \text{FALSE}$ ;  
13:      fim se  
14:      se  $\text{Aptidao}(s'') > \text{Aptidao}(s_w)$  então  
15:         $P \leftarrow P \cup \{s''\} - \{s_w\}$ ;  
16:         $\text{Calcular Aptidão}(s'', s_w, P, I)$ ;  
17:         $s_w \leftarrow \text{Menor}(\text{Aptidao})$ ;  
18:      se não  
19:         $\text{continue} \leftarrow \text{FALSE}$ ;  
20:      fim se  
21:    fim enquanto  
22:  fim para  
23:   $PO \leftarrow \text{Soluções Não Dominadas}(PO \cup P)$ ;  
24: até Critério de Parada  
25: retornar  $PO$ ;
```

Indicadores Binários

- A qualidade das soluções no I_ϵ é mensurada pela a distância entre duas soluções no espaço dos objetivos. Seu cálculo é efetuado da seguinte maneira:

$$I_\epsilon(x_1, x_2) = \max_{i \in \{1, \dots, n\}} (f_i(x_1) - f_i(x_2)) \quad (12)$$

- O cálculo de aptidão de um indivíduo é determinado pelo somatório (Basseur, 2007):

$$I(P \setminus \{x\}, x) = \sum_{z \in P \setminus \{x\}} -e^{-I_\epsilon(z, x)/k} \quad (13)$$

Indicadores Binários

- Dadas duas soluções x_1 e x_2 , o indicador binário de hipervolume $I_{HD}(x_1, x_2)$, representa o volume do espaço de objetivos que é dominado por x_1 mas não é dominado por x_2 :

$$I_{HD}(x_1, x_2) = \begin{cases} H(x_1) - H(x_2) & \text{se } x_1 \prec x_2, \\ H(x_1 + x_2) - H(x_2) & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (14)$$

- O cálculo de aptidão de um indivíduo é determinado pelo somatório:

$$I(P \setminus \{x\}, x) = \sum_{z \in P \setminus \{x\}} -e^{-I_{HD}(z, x)/k} \quad (15)$$

Indicadores Binários

- O indicador I_{FON} basicamente propõe um ranqueamento entre as soluções, a partir do número de soluções que cada uma domina:

$$I_{Fon}(x_1, x_2) = \begin{cases} -1 & \text{se } x_1 \prec x_2, \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (16)$$

- Diferentemente dos outros indicadores, o cálculo de aptidão dos indivíduos da população é realizado através do simples somatório dos valores de fitness de cada indivíduo (Fonseca et al. (1993)):

$$I(P \setminus \{x\}, x) = \sum_{z \in P \setminus \{x\}} I_{FON}(z, x) \quad (17)$$

- 1 Motivação
- 2 O Problema de Roteamento de Veículos
- 3 Busca Local Multiobjetivo Baseada em Indicador
- 4 Testes Computacionais
- 5 Conclusão
- 6 Trabalhos Futuros
- 7 Referências Bibliográficas

Instâncias de Problemas e Parâmetros utilizados

- Foram utilizadas 12 instâncias de 50 a 150 consumidores mais o depósito, propostas por Salhi e Nagy (1999) para o VRPSPD.
- Cada instância foi executada 5 vezes com cada indicador
- O número de gerações do IBMOLS foi 50, tamanho da população inicial 10, taxa de mutação dos mecanismos de perturbação 0.3 e o fator de escala k (no caso dos indicadores I_{ϵ} e I_{HD}) 0.1.

Métricas utilizadas para avaliação

Foram utilizadas as seguintes métricas na avaliação do desempenho dos algoritmos:

- Tempo de execução
- Cardinalidade, que mensura quantas possibilidades de escolha o tomador de decisão pode ter
- Hipervolume: a qualidade de uma fronteira é definida pela soma dos hipercubos de cada uma das soluções que a compõem (Hughes, 2005)
- Cobertura: determina em que medida uma fronteira de Pareto domina as demais

Resultados de Tempo de Execução

Instância	I_{ϵ}	I_{FON}	I_{HD}
CMT1X	4783,25 (241,31)	5221,07 (448,8)	5140,48 (202,24)
CMT1Y	7700,22 (234,36)	7246,09 (964,65)	7366,17 (477,8)
CMT2X	11696,6 (1009,23)	11868,65 (1620,46)	11772,4 (649,95)
CMT2Y	27499,58 (2073,65)	32398,84 (1607,76)	32438,68 (4541,82)
CMT3X	152092,6 (6979,93)	162727,6 (11602,19)	160291,6 (7381,23)
CMT3Y	203925,6 (7675,61)	207824,2 (10057,66)	207873,4 (4173,17)
CMT4X	574257,6 (18919,79)	588513,2 (16569,53)	574362,2 (37086,5)
CMT4Y	784814,4 (45346,66)	801915,6 (16155,43)	790977 (57675,27)
CMT11X	497025,4 (38917,17)	506154,8 (44709,15)	507026 (52041,12)
CMT11Y	327682,2 (34860,79)	345287,6 (19075,34)	342428,4 (18764,02)
CMT12X	100029,28 (4513,96)	105918,5 (5543,89)	105928,4 (4785,45)
CMT12Y	129340,2 (6356,13)	138568,2 (5581,87)	128980,2 (5395,27)
Média	235070,58 (13927,38)	242803,70 (11161,39)	239548,74 (16097,82)

Resultados de Cardinalidade

Instância	I_{ϵ}	I_{FON}	I_{HD}
CMT1X	2,6 (0,49)	2,8 (0,4)	3,6 (0,8)
CMT1Y	7,4 (1,02)	11,4 (1,02)	11,2 (1,17)
CMT2X	5 (1,41)	4,4 (1,62)	3,2 (0,75)
CMT2Y	22,4 (3,01)	29,8 (3,06)	27,8 (5,08)
CMT3X	5,2 (1,47)	6,2 (2,14)	7 (1,1)
CMT3Y	17,2 (1,6)	19,8 (3,12)	18 (3,03)
CMT4X	7 (1,26)	7,2 (1,94)	6,4 (1,5)
CMT4Y	30,8 (3,06)	29 (3,1)	30,2 (2,93)
CMT11X	37,4 (7,66)	35,6 (6,89)	37 (8,37)
CMT11Y	20,8 (1,6)	24,6 (4,08)	24,8 (2,93)
CMT12X	14,6 (2,73)	16 (3,58)	14,8 (2,99)
CMT12Y	27,2 (4,45)	24,8 (4,02)	24,2 (3,87)
Média	16,47 (2,48)	17,63 (2,91)	17,35 (2,88)

Resultados de Hipervolume

Instância	I_{ϵ}	I_{FON}	I_{HD}
CMT1X	391,61 (16,62)	405,05 (17,78)	413,48 (3,61)
CMT1Y	2833,78 (244)	3119,52 (80,61)	3016,16 (107,51)
CMT2X	2166,34 (247,25)	1886,7 (351,62)	1956,23 (266,36)
CMT2Y	54779,43 (745,53)	54355,08 (837,48)	54242,71 (1371,66)
CMT3X	970,92 (155,08)	1123,73 (26,12)	1116,95 (5,63)
CMT3Y	9247,71 (93,23)	9348,28 (40,43)	9106,29 (219,12)
CMT4X	1890,53 (285,22)	2296,68 (634,4)	1820,75 (348,09)
CMT4Y	38618,37 (866,12)	38369,73 (1103,39)	38393,53 (1582,99)
CMT11X	36891,88 (1131,33)	36843,05 (614,28)	36393,13 (912,33)
CMT11Y	19246,31 (1584,18)	18610,46 (1585,78)	18651,36 (1355,23)
CMT12X	10735 (70,94)	10736,53 (98,45)	10616,73 (222,36)
CMT12Y	20577,81 (1193,77)	20770,49 (535,56)	20574,07 (871,64)
Média	16529,14 (552,77)	16488,78 (493,83)	16358,45 (605,54)

Resultados de Cobertura

Instância	I_{ϵ}	I_{FON}	I_{HD}
CMT 1X	0,68 (0,19)	0,74 (0,25)	0,73 (0,22)
CMT 1Y	0,32 (0,09)	0,50 (0,08)	0,51 (0,18)
CMT 2X	0,46 (0,45)	0,36 (0,34)	0,46 (0,20)
CMT 2Y	0,50 (0,16)	0,34 (0,15)	0,50 (0,09)
CMT 3X	0,30 (0,19)	0,48 (0,12)	0,62 (0,12)
CMT 3Y	0,36 (0,08)	0,52 (0,17)	0,37 (0,13)
CMT 4X	0,32 (0,14)	0,64 (0,26)	0,37 (0,23)
CMT 4Y	0,42 (0,16)	0,36 (0,10)	0,48 (0,11)
CMT 11X	0,50 (0,17)	0,45 (0,12)	0,44 (0,27)
CMT 11Y	0,40 (0,21)	0,37 (0,12)	0,40 (0,13)
CMT 12X	0,45 (0,15)	0,40 (0,03)	0,51 (0,17)
CMT 12Y	0,37 (0,11)	0,31 (0,08)	0,48 (0,10)
Média	0,42 (0,18)	0,46 (0,15)	0,49 (0,16)

- 1 Motivação
- 2 O Problema de Roteamento de Veículos
- 3 Busca Local Multiobjetivo Baseada em Indicador
- 4 Testes Computacionais
- 5 Conclusão**
- 6 Trabalhos Futuros
- 7 Referências Bibliográficas

Conclusão

- Os custos de transporte representam lugar de destaque nas preocupações das organizações. Qualquer percentual de economia pode representar um grande avanço
- A revisão bibliográfica mostrou que há poucos trabalhos de VRP que tratam de demandas de coleta e entrega numa abordagem multiobjetivo.
- Por ser um problema de complexidade \mathcal{NP} -difícil, busca-se o emprego de técnicas heurísticas para obtenção de soluções viáveis em um tempo computacional aceitável

Conclusão

- A técnica empregada para a resolução do MOVRPOP foi a busca local baseada em indicador (IBMOLS), que possui um indicador através do qual o tomador de decisão pode explicitar suas preferências de otimização
- O IBMOLS foi testado com três diferentes tipos de indicadores encontrados na literatura I_{ϵ} , I_{HD} e o I_{FON}
- Os resultados obtidos demonstram um desempenho muito próximo entre os indicadores, sendo necessário um maior número de testes para se verificar se as diferenças entre eles são significativas do ponto de vista estatístico

- 1 Motivação
- 2 O Problema de Roteamento de Veículos
- 3 Busca Local Multiobjetivo Baseada em Indicador
- 4 Testes Computacionais
- 5 Conclusão
- 6 Trabalhos Futuros**
- 7 Referências Bibliográficas

Trabalhos Futuros

- executar um maior número de testes para uma análise estatística melhor das diferenças entre os algoritmos;
- testar o IBMOLS em outros conjuntos de instâncias da literatura bem como em outros problemas de otimização;
- comparar o desempenho do IBMOLS em relação a outras meta-heurísticas;
- implementar e testar os indicadores utilizados em algoritmos evolucionários;
- testar o IBMOLS com outros indicadores encontrados na literatura e, a partir da comparação entre os mesmos através da observação e experiência adquiridas, propor um novo indicador;
- aplicar a técnica proposta em um problema real.

(GONÇALVES et al., 2005)
(ALMEIDA, 2003)
(KURUATUBA, 2011)
(ALVES, 2017)
(SOMMERVILLE, 2003)

- 1 Motivação
- 2 O Problema de Roteamento de Veículos
- 3 Busca Local Multiobjetivo Baseada em Indicador
- 4 Testes Computacionais
- 5 Conclusão
- 6 Trabalhos Futuros
- 7 Referências Bibliográficas

Referências Bibliográficas



ALMEIDA, M. E. B. de. Educação a distância na internet: abordagens e contribuições dos ambientes digitais de aprendizagem. *Educação e pesquisa*, SciELO Brasil, v. 29, n. 2, p. 327–340, 2003.



ALVES, E. d. C.
Reconstrução do portal institucional da UFVJM: adoção da Identidade Digital do Governo Federal e implementação do PloneGov-BR como novo Sistema de Gerenciamento de Conteúdo — Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, Brasil, 2017.



GONÇALVES, R. F. et al. Uma proposta de processo de produção de aplicações web. *Production*, SciELO Brasil, v. 15, n. 3, p. 376–389, 2005.



KURUATUBA. *Histórico da ONG KURUATUBA*. 2011. Disponível em: <http://ongkuruatuba.blogspot.com/>. Acesso em: 3-10-2019.



SOMMERVILLE, I. *Engenharia de Software*. [S.l.]: Addison-Wesley, 2003.