

Aplicação da Metaheurística GRASP na Otimização das Rotas de Distribuição de Medicamentos no Município de Mossoró-RN

Cynthia M. Maia¹, Julio C. M. Gomes¹,
Francisco C.L. Júnior¹, Carlos H. P. Liberalino¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação
(UFERSA-UERN) Mossoró – RN – Brazil

{cynthiamaia45, juliocartier, fclima jr, heitorliberalino.a}@gmail.com

Abstract. *This work addresses the problem of vehicle routing applied in the distribution of drugs in the municipality of Mossoró, Rio Grande do Norte (RN). The objective of this work is to optimize the distribution routes of medicines of the public sector in the municipality, in order to minimize the costs of the paths covered in the process. As a way of solving the problem, the GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) metaheuristic was implemented, and the greedy-random constructive method and the fastest local search (Steepest Descent) were used as heuristics. Computational experiments were carried out with the instances of the problem that indicate that the metaheuristic used can achieve satisfactory results.*

Resumo. *Este trabalho aborda o problema de roteamento de veículos aplicado na distribuição de medicamentos no município de Mossoró, Rio Grande do Norte (RN). O objetivo deste trabalho é otimizar as rotas de distribuição de medicamentos do setor público no município, a fim de minimizar os custos dos caminhos percorridos no processo. Como forma de resolução do problema, implementou-se a metaheurística GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure), e como heurísticas foram utilizadas o método construtivo guloso-aleatório e a busca local descida mais rápida (Steepest Descent). Foram realizados experimentos computacionais com as instâncias do problema que apontam que a metaheurística utilizada consegue atingir resultados satisfatórios.*

1. Introdução

O Problema de Roteamento de Veículos (PRV) é uma generalização do Problema do Caixeiro Viajante (PCV). Seu objetivo consiste em construir rotas com custo mínimo para atender um conjunto de clientes, por meio de uma frota de veículos, partindo de um depósito central [Nelson et al. 1985]. O PRV tem diferentes aplicações, por exemplo: coleta de lixo, roteamento de vendedores, entregas de produtos (refeições, medicamentos), distribuição de bebidas, planejamento de transporte escolar [Alves et al. 2015]. Como pode ser verificado nos exemplos, o PRV é encontrado em diversas aplicações, com objetivo de obter rotas mais eficientes e econômicas.

O problema apresentado no presente estudo é um problema de roteamento de veículos, que consiste em realizar entregas dos medicamentos do setor público do município de Mossoró-RN, de tal forma que minimize o tempo total do percurso ou o custo

total da rota. No trabalho buscou-se compreender as diferentes etapas que compõem o processo de logística de distribuição de medicamentos do setor público. A distribuição se inicia na secretaria de saúde e segue para as Unidade Básica de Saúde (UBS), Unidade de Pronto Atendimento (UPAS) e Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU), por meio de um único veículo. Assim, propõe-se nesse trabalho a utilização da Metaheurística (MH) GRASP e como heurísticas o método construtivo guloso-aleatório e a busca local descida mais rápida (*Steepest Descent*) como solução para o problema em questão.

Este artigo está organizado como segue: seção 2 é apresentado um breve relato sobre o problema de roteamento de veículo e a metaheurística GRASP; seção 3 o método proposto; seção 4 é apresentado os resultados da utilização da técnica; e na seção 5 a conclusão do trabalho.

2. Problema de Roteamento de Veículos

O Problema de Roteamento de Veículos foi introduzido por [Dantzig and Ramser 1959], consiste em determinar rotas para os veículos de forma a minimizar os custos, atendendo um conjunto de cliente. O PRV é um problema NP-Completo [Lenstra and Kan 1981], esses problemas são difíceis de serem resolvidos por métodos exatos, em função do alto custo computacional gerado.

Devido a esse alto custo, os métodos propostos para resolução de PRV em tempo hábil de forma econômica e eficiente, são baseados em heurísticas e metaheurísticas. As metaheurísticas são métodos de busca com capacidade de escapar de ótimos locais, com uma exploração mais robusta no espaço de soluções de um problema [Glover and Kochenberger 2006].

Algumas de suas características são [Blum and Roli 2003]:

- Utilização de estratégias para guiar no processo de busca;
- Exploração de maneira eficiente em relação ao espaço de busca, visando encontrar uma solução ótima;
- Possuem mecanismos que evitam ficar presos em áreas que são restritas do espaço de busca;
- Mantém experiências de buscas, com objetivo de utilizar as experiências nos futuros processos de buscas.

Algumas metaheurísticas utilizadas com frequência são: Busca Tabu [Glover 1989], Colônia de Formigas [Dorigo and Di Caro 1999], Algoritmos Genéticos [Michalewicz and Hartley 1996], *Simulated Annealing* [Johnson et al. 1989] e GRASP [Feo and Resende 1995].

Para este trabalho foi utilizado a metaheurística GRASP. Seu objetivo consiste em realizar buscas para resolução de problemas de otimização combinatória, por meio de um processo iterativo de duas fases: a primeira é uma fase de construção e a segunda é uma fase de busca local.

A primeira fase consiste em construir uma solução de elemento a elemento, ou seja, são construídas soluções viáveis a cada iteração, para que estas possam ser utilizadas na segunda fase. A segunda fase é de busca local, realizando investigações na vizinhança das soluções encontradas na fase de construção, até encontrar um ótimo local, retornando o ótimo local daquela vizinhança. Após todas as iterações realizadas, o algoritmo retorna a melhor solução encontrada [Feo and Resende 1995].

3. Método Proposto

Este trabalho procurou otimizar o processo de distribuição de medicamentos do setor público de Mossoró-RN, para esse trabalho foram considerados a distribuição para zona urbana do município. O município possui 259.815 mil habitantes [IBGE 2018], para atender essa população, o Sistema Único de Saúde (SUS) dispõe vários pontos de atendimento. O abastecimento desses medicamentos entre os pontos, são de responsabilidade do Setor da Farmácia, localizado na secretaria municipal de saúde de Mossoró.

Este trabalho é dividido em duas etapas: na primeira(i) é caracterizado o problema de distribuição de medicamentos, na segunda (ii) são realizados os experimentos com aplicação da metaheurística GRASP e como heurísticas o método construtivo guloso-aleatório e a busca local descida mais rápida (*Steepest Descent*).

3.1. Caracterização do Problema

Para compreender a logística de distribuição, foram realizadas entrevistas com o responsável pelo setor da farmácia no município de Mossoró-RN. Essas entrevistas visaram coletar informações para delimitação do escopo do problema em questão.

A entrega de medicamentos é dividida entre 3(três) UPAS, 17 (dezessete) UBS e 1(um) SAMU, totalizando 21 unidades para distribuição. A central de abastecimento é a secretaria municipal de saúde, totalizando ao final 22 pontos.

A distribuição de medicamentos entre UPAS e SAMU, acontecem de forma semanal, toda semana são entregues materiais para esses pontos, as diretoras das UPAS e SAMU solicitam no início da semana os medicamentos por meio de um documento e entregam a farmácia. A farmácia fica sob a responsabilidade de entregar esses medicamentos ao longo da semana, não entregando final de semana porque a secretária de saúde está fechada, para não ter problema de abastecimento para a semana seguinte.

De forma mensal, a farmácia atende as UBS, UPAS e SAMU, de forma aleatória, a partir das solicitações das diretoras dessas unidades, a farmácia tem o prazo de 10 dias para entregar os medicamentos. Em relação ao transporte, a secretaria de saúde dispõe de um único veículo para realizar a distribuição, os horários costumam ser pela manhã.



Figura 1. Distribuição das Unidades no Mapa de Mossoró-RN.

A Figura 1, mostra as unidades no mapa de Mossoró através da ferramenta Google Earth [Earth 2018].

Por meio do Google Earth foi possível obter as distâncias entre as unidades. Os marcadores verdes representam as UBS, os amarelos representam as UPAS, na cor azul o Samu e em vermelho a secretaria municipal de saúde de Mossoró.

3.2. Experimentos Computacionais

Os experimentos computacionais foram realizados considerando os seguintes problemas:

- **Problema 1:** distribuição de forma semanal(4 unidades).
- **Problema 2:** distribuição de forma mensal(21 unidades).

Ambos os problemas não possuem uma rota estratégica de entrega dos medicamentos. A Tabela 1, a seguir, identifica os problemas (instâncias), a unidade de medida(medida) a qual o problema trata para encontrar a melhor rota e as unidades de saúde(n) contidas em cada problema.

Tabela 1. Instâncias do PRV na Distribuição de Medicamentos.

Instâncias	Medida	n	Unidades Pertencentes as Instâncias.
Problema 1	km	4	UPA: Alto de São Manoel; UPA: Belo Horizonte; UPA: Conchecita Ciarlini-Santo Antônio; Samu
Problema 2	km	21	UBS: Sumaré; UBS: Antonio Soares Junior; UBS:Teimosos; UBS: Dr. Jose Holanda Cavalcante; UBS: Vereador Durval Costa; UBS: Vingt-Rosado; UBS: Dr. José Leão; UBS: Antonio Camilo; UBS:Dr. Jose Fernandes de Melo; UBS: Barrocas; UBS:Raimundo Renê Dantas; UBS: Chico Porto; UBS:Dr. Cid Salem; UBS: Dr. Lucas Benjamin; UBS:Sinharinha Borges; UBS: Ouro negro; UBS: Dr.Ildone Cavalcante de Freitas; UPA: Alto de São Manoel; UPA: Belo Horizonte; UPA: Conchecita Ciarlini-Santo Antônio; Samu.

Para resolver o problema utilizou-se a metaheurística GRASP. As fases foram: construção e busca local. Como heurísticas foram utilizadas o método construtivo guloso-aleatório e a busca local descida mais rápida (*Steepest Descent*). A criação do guloso-aleatório, tem como forma a cada iteração é escolhido elementos aleatórios para que estes possam ser utilizado na fase de busca local. O pseudocódigo do algoritmo GRASP para o problema em questão é apresentado a seguir no Algoritmo 1.

Algoritmo 1: Pseudocódigo GRASP.

```

1 vetorMelhor = [];
2 vetorSolucaoInicia = [];
3 para i < - 0 ate Veiculos faça passo 1;
4 se(capacidade <= 400) então ;
5 vetorSolucaoInicial = gulosoAleatorio(vetor);
6 vetorMelhor = DescidaDeEncosta(vetorSolucaoInicial);
7 senão escreva("Ultrapassou a capacidade do veiculo");

```

4. Resultados

Definiu-se o problema em um grafo $G = (V, A)$, com um conjunto de vértices $V=0\dots n$ que representam os clientes (UPA, UBS e SAMU), o vértice 0 seria o depósito (Secretaria de Saúde de Mossoró). As arestas seriam o conjunto A , que representam as possibilidades de rotas entre os vértices, partindo do depósito para os clientes. O problema apresenta algumas restrições, como:

- As rotas se iniciam e terminam no depósito;
- Cada vértice é visitado apenas uma vez por apenas um veículo;
- A capacidade do veículo é de 400 kg.

A metaheurística GRASP e as heurísticas foram desenvolvidas utilizando a linguagem Java. Os experimentos foram realizados em um NoteBook Intel Core i5, com 8 GB de memória RAM, em um sistema operacional Linux.

De acordo com os conceitos de grafos [Leiserson et al. 2002], na Tabela 2 podem ser visualizadas as possíveis rotas de custos mínimos para as instâncias propostas, após execução do algoritmo GRASP, foram extraídas as melhores soluções.

Tabela 2. Resultados das Instâncias do PRV.

Instâncias	Rotas	Custos Mínimos
Problema 1	UPA: Alto de São Manoel; UPA: Belo Horizonte; UPA: Conchecita Ciarlini-Santo Antônio; Samu	16.29 km
Problema 2	UBS: Sumaré; UBS: Antonio Soares Junior; UBS:Teimosos; UBS: Dr. Jose Holanda Cavalcante; UBS: Vereador Durval Costa; UBS: Vingt-Rosado; UBS: Dr. José Leão; UBS: Antonio Camilo; UBS:Dr. Jose Fernandes de Melo; UBS: Barrocas; UBS:Raimundo Renê Dantas; UBS: Chico Porto; UBS:Dr. Cid Salem; UBS: Dr. Lucas Benjamin; UBS:Sinharinha Borges; UBS: Ouro negro; UBS: Dr.Ildone Cavalcante de Freitas; UPA: Alto de São Manoel; UPA: Belo Horizonte; UPA: Conchecita Ciarlini-Santo Antônio; Samu.	96.59 km

Os melhores resultados encontrados são observados na Tabela 2, encontrando rotas satisfatórias para o problema em questão, diante das possibilidades apresentadas pelo algoritmo, no qual foram consideradas as rotas de menor custo.

Na Figura 2 é apresentado a rota de custo mínimo para o problema 1, que foram considerados as rotas semanais para distribuição dos medicamentos. A rota inicia no depósito, localizado na secretaria municipal de saúde de Mossoró, posteriormente, segue para os pontos: C; B; Samu e A, e ao final retorna para o depósito. Os pontos das unidades de saúde, foram apresentados na Tabela 2.

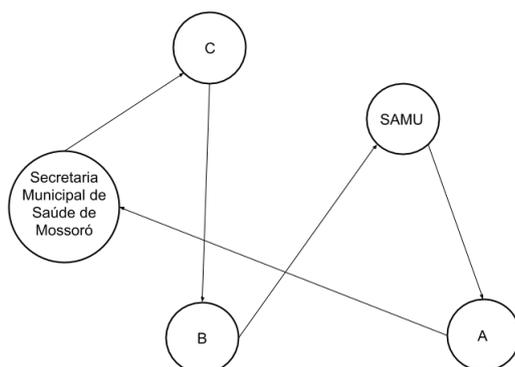


Figura 2. Grafo da Melhor Rota para a Distribuição de Medicamentos, Partindo da Secretaria de Saúde para UPAS e SAMU.

Na Figura 3 é apresentado a rota de custo mínimo para o problema 2, que foram considerados as rotas mensais para distribuição dos medicamentos. A distribuição mensal acontece entre UPAS, SAMU e UBS. A rota inicia no depósito, localizado na secretaria municipal de saúde de Mossoró, posteriormente segue para os pontos: P; B; F; N; Q; R; Samu; H; G; L; M; T; O; K; E; J; D; C; I; S, A, e ao final retorna para o depósito. Os pontos das unidades de saúde, foram apresentados na Tabela 2.

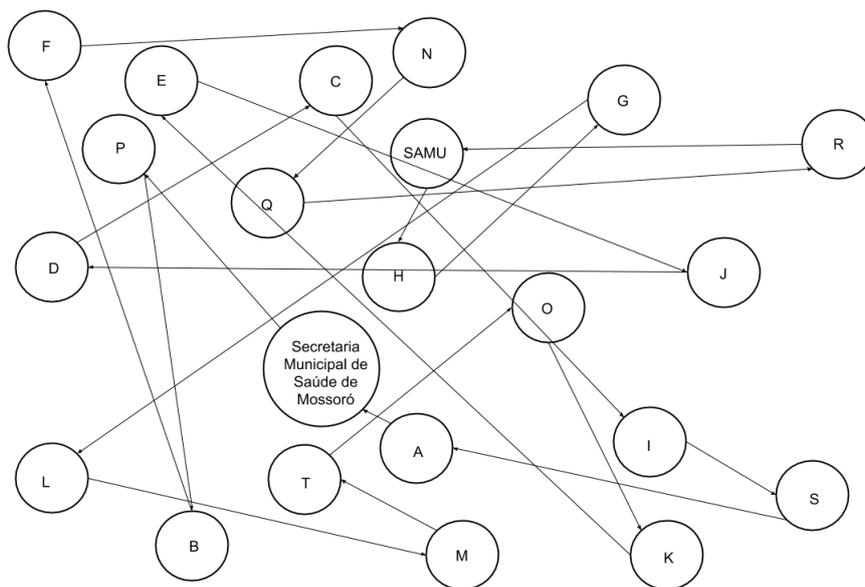


Figura 3. Grafo da Melhor Rota Para a Distribuição de Medicamentos Mensal, Partindo da Secretária de Saúde Para UPAS, UBS e SAMU.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou dois segmentos: no primeiro segmento, foi apresentado o problema de distribuição de medicamentos, que acontece de forma aleatória, e no segundo segmento foi apresentado a proposta de aplicação de uma metaheurística como forma de resolução do problema. O objetivo geral do trabalho foi de implementar uma metaheurística como uma forma de otimizar as rotas de distribuição de medicamentos no município de Mossoró-RN.

Foi implementado a metaheurística GRASP e como heurísticas foram utilizadas o método construtivo guloso-aleatório e a busca local descida mais rápida (*Steepest Descent*). De acordo com os resultados obtidos a metaheurística apresenta resultados satisfatórios, comparados a utilização de apenas algoritmos exatos, apresentando as rotas em tempo viável.

Os resultados desse trabalho, podem auxiliar a secretaria municipal de saúde de Mossoró-RN a otimizar suas rotas, para serem eficientes e econômicas, diante, que a secretaria não têm uma rota estratégica para distribuição dos medicamentos, no qual, utilizam uma rota aleatória, que não sabem ao certo se é a melhor rota.

Como trabalhos futuros, pretende-se a realização de novos experimentos, com a utilização da metaheurística Busca Tabu e *Simulated Annealing*, como forma de comparar os resultados obtidos a partir da implementação dessas outras metaheurísticas. E pretende-se também verificar se a técnica da metaheurística GRASP para entrega de medicamentos é viável em rotas extremamente maiores, levando em consideração fatores como por exemplo, do alto tráfego de transportes.

Referências

- Alves, F. S. et al. (2015). Problemas de roteamento de veículos aplicados no planejamento logístico do transporte escolar da cidade de coxim-ms.
- Blum, C. and Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM computing surveys (CSUR)*, 35(3):268–308.
- Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1):80–91.
- Dorigo, M. and Di Caro, G. (1999). Ant colony optimization: a new meta-heuristic. In *Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406)*, volume 2, pages 1470–1477. IEEE.
- Earth, G. (2018). Google earth. <http://earth.google.com/>. acesso em 09 de novembro.
- Feo, T. A. and Resende, M. G. (1995). Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of global optimization*, 6(2):109–133.
- Glover, F. (1989). Tabu search—part i. *ORSA Journal on computing*, 1(3):190–206.
- Glover, F. W. and Kochenberger, G. A. (2006). *Handbook of metaheuristics*, volume 57. Springer Science & Business Media.
- IBGE (2018). Censo demografico. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/mossoro/panorama>. acesso em 09 de novembro.
- Johnson, D. S., Aragon, C. R., McGeoch, L. A., and Schevon, C. (1989). Optimization by simulated annealing: An experimental evaluation; part i, graph partitioning. *Operations research*, 37(6):865–892.
- Leiserson, C. E., Stein, C., Rivest, R. L., and Cormen, T. H. (2002). Algoritmos: teoria e prática. *Campus, ed*, 1.
- Lenstra, J. K. and Kan, A. R. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, 11(2):221–227.

Michalewicz, Z. and Hartley, S. J. (1996). Genetic algorithms+ data structures= evolution programs. *Mathematical Intelligencer*, 18(3):71.

Nelson, M. D., Nygard, K. E., Griffin, J. H., and Shreve, W. E. (1985). Implementation techniques for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 12(3):273–283.