

## Heurísticas GRASP para o Problema do Caixeiro Viajante com Drones

Matheus Teixeira Mattioli, Mário César San Felice<sup>1</sup>

Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

Pedro Henrique Del Bianco Hokama<sup>2</sup>

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Na literatura existe uma grande variedade de problemas de roteamento de veículos envolvendo drones [4]. O Problema do Caixeiro Viajante com Drone (TSP-D) é um deles, sendo uma generalização do Problema do Caixeiro Viajante (TSP) em que existe um drone equipado no caminhão. Este problema é motivado por um cenário com entrega de produtos à clientes, que segundo Shiva et al. [1], desperta o interesse de grandes empresas como a Amazon.

No TSP-D, baseado em Agatz et al. [2], temos como entrada um grafo  $G = (V, A)$ , com  $V = \{0, 1, 2, \dots, n + 1\}$  e custos nas arestas, sendo que os vértices 0 e  $n + 1$  correspondem ao depósito. Queremos construir um circuito que começa e termina no depósito e visita um subconjunto dos clientes, representando a rota do caminhão. Todos os clientes devem ser atendidos ou pelo caminhão ou pelo drone, sendo que o drone só pode fazer uma entrega por lançamento. Quando o drone não está fazendo uma entrega ele é carregado pelo caminhão. Uma entrega por drone corresponde a uma tripla  $\langle i, j, k \rangle$  em que  $i$  é o ponto de lançamento,  $j$  é o cliente atendido e  $k$  é o ponto de encontro, sendo que  $i$  aparece antes de  $k$  na rota do caminhão. Se o drone for lançado em um nó  $i$  e coletado em um nó  $j$ , não pode existir outro nó de lançamento  $i'$  que esteja entre  $i$  e  $j$  na rota do caminhão. Isto é, o drone só pode ser lançado novamente após sua coleta. Por exemplo, numa mesma solução não podem existir triplas  $\langle 1, 3, 5 \rangle$  e  $\langle 2, 4, 6 \rangle$ , considerando que os vértices estão rotulados seguindo a ordem em que o caminhão os visita. O drone deve começar e terminar a rota junto com o caminhão.

Uma solução para o TSP-D é um par  $sol = (TD, DD)$ , sendo  $TD$  a sequência de vértices que forma a rota do caminhão, e  $DD$  o conjunto de entregas por drone. Podemos particionar uma solução do TSP-D em diversas operações, sendo que cada operação pode ou não envolver uma entrega por drone. Como exemplo do caso que não envolve uma entrega por drone, tome a operação  $\langle i, j \rangle$  em que o caminhão percorre a subrota de  $TD$  começada em  $i$  e terminada em  $j$ . O custo dessa operação é o tempo que o caminhão utiliza para visitar os clientes da subrota correspondente. No caso de uma operação que envolve uma entrega por drone, seja  $\langle i, j, k \rangle$  tal entrega. Assim, nessa operação, drone e caminhão se movem de modo paralelo. O caminhão percorre a subrota de  $TD$  entre  $i$  e  $k$ , enquanto o drone vai de  $i$  para  $j$  e de lá para  $k$ . Como quem chegar primeiro em  $k$  precisa esperar o outro, o custo de tal operação é o máximo entre o tempo do caminhão e o tempo do drone para percorrer seus respectivos trajetos. Portanto, nossa função objetivo visa minimizar a soma dos custos das operações que compõem a nossa solução. Na Figura 1 temos uma solução para o TSP com custo  $100 + 150 + 250 + 300 + 350 + 500 = 1650$  e uma solução para o TSP-D que, supondo a velocidade do drone igual ao dobro da velocidade do caminhão, tem custo  $\max(200, 50 + 75) + \max(250, 125 + 150) + \max(400, 250 + 175) = 900$ .

---

<sup>1</sup>matheus.mattioli@estudante.ufscar.br, felice@ufscar.br

<sup>2</sup>hokama@unifei.edu.br

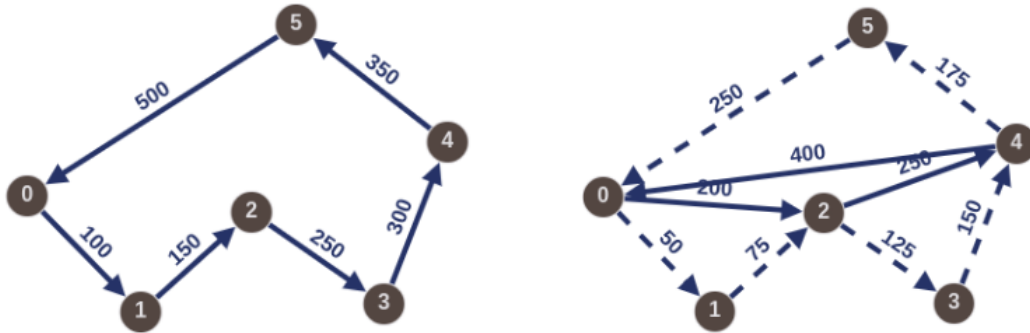


Figura 1: Relação entre uma solução para o TSP e uma solução para o TSP-D.

Para resolver o TSP-D projetamos heurísticas GRASP, com a etapa construtiva envolvendo a construção de uma solução do TSP, na qual são inseridas entregas por drone usando o algoritmo *Split*, proposto por Quang Minh et al. [3]. Ainda não implementamos a etapa de intensificação, mas estamos estudando diversas estruturas de vizinhanças, como, por exemplo, uma generalização da 2-OPT do TSP para o TSP-D. Implementamos três heurísticas construtivas aleatorizadas para o GRASP. A primeira foi a clássica *Nearest*, de inserção do vizinho mais próximo com uma lista restrita de candidatos (RCL, do inglês Restricted Candidate List). Além disso, propusemos duas outras que tentam produzir circuitos interessantes para o drone: a *Spikes*, que é uma variante da *Nearest* na qual tentamos formar o maior número possível de pontas; a *Ellipse*, que visa limitar em uma área elíptica as opções da RCL. Em nossos testes executamos as heurísticas GRASP, com os três diferentes algoritmos construtivos aleatorizados, rodando por 100 iterações para cada instância. Na Tabela 1 apresentamos o ganho médio das soluções do TSP-D que obtivemos, em relação à solução ótima do TSP para três conjuntos de instâncias geradas com diferentes distribuições.

Tipo Instância	Solução ótima TSP	<i>Nearest</i>	<i>Spikes</i>	<i>Ellipse</i>
<i>Doublecenter</i>	2.722, 24	-3, 56%	-6, 09%	-4, 54%
<i>Singlecenter</i>	2.049, 09	-8, 45%	-10, 88%	-9, 28%
<i>Uniform</i>	1.213, 35	-3, 55%	-6, 05%	-4, 43%

Tabela 1: Ganho médio das soluções obtidas pelas heurísticas GRASP para o TSP-D em relação a um circuito ótimo do TSP. Todas as instâncias utilizadas nos testes possuem 250 vértices.

## Referências

- [1] S. R. R. Singireddy e T. U. Daim. Technology roadmap: Drone delivery – amazon prime air. *Infrastructure and technology management*, 387–412, Springer, 2018.
- [2] N. Agatz, P. Bouman e M. Schmidt. Optimization approaches for the traveling salesman problem with drone. *Transportation Science*, 52(4): 965–981, 2018.
- [3] Q. M. Ha, Y. Deville, Q. D. Pham e M. H. Hà. On the min-cost traveling salesman problem with drone. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 86: 597–621, 2018.
- [4] I. Khoufi, A. Laouiti e C. Adjih. A survey of recent extended variants of the traveling salesman and vehicle routing problems for unmanned aerial vehicles. *Drones*, 3: 66, 2019.