

O Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Fracionadas: Formulações Matemáticas e Heurísticas

Guilherme Marinho Coelho¹

Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos

Pedro Munari²

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos

O desenvolvimento de modelos matemáticos e algoritmos para a resolução do problema de roteirização de veículos (PRV) é fundamental para o apoio à tomada de decisão eficiente em sistemas logísticos. Diversas variantes do PRV têm sido estudadas, e atualmente permitem modelar diferentes tipos de requisitos práticos e objetivos. Uma variante de interesse neste projeto, é o PRV com Entrega Fracionada [1], no qual a demanda de cada cliente não precisa ser satisfeita por um único veículo, podendo assim haver várias visitas a um mesmo cliente, por diferentes veículos. Outra variante de interesse, é o Problema de Coleta e Entrega com Janelas de Tempo [2], que aborda o caso em que determinadas cargas devem ser transportadas entre pontos de coleta e pontos de entrega específicos.

Nesse projeto, as duas variantes citadas foram estudadas a partir de uma revisão da bibliografia dos dois problemas, além da implementação das suas principais formulações compactas. Dessa forma, foram realizados experimentos computacionais que conseguiram replicar os resultados da literatura. A partir disso, foi estudada uma variante proveniente da combinação dessas anteriores, a qual essa o ponto central desse trabalho. Essa variante permite coletas e entregas fracionadas, sendo chamada então de PRV com Coleta e Entrega Fracionadas (PCEF), possuindo aplicações relevantes em diferentes modais, como rodoviário e marítimo. Foram então desenvolvidos novas formulações matemáticas compactas para o problema combinado. Diferentemente de trabalhos anteriores [4], os modelos desenvolvidos não possuem variáveis indexadas por veículos, mas sim por arcos apenas. Isso, a princípio, traria vantagens computacionais, principalmente por reduzir a simetria do espaço de soluções, como observado em variantes relacionadas [3, 5].

Devido a complexidade do problema, o desenvolvimento de modelos compactos utilizando uma indexação apenas por arcos se mostrou um desafio, fazendo com que as formulações ficassem relativamente extensas e complexas. Ainda sim, o uso de variáveis indexadas apenas por arcos trouxe a possibilidade da obtenção de soluções que não poderiam ser obtidas a partir de formulações compactas tradicionais, indexada por arcos e veículos, como é o caso de uma solução onde uma rota passa por um mesmo nó mais de uma vez. Essa possibilidade é dispensável em formulações para o PRV com Entregas Fracionadas, uma vez que para qualquer instância do problema existirá pelo menos uma solução ótima onde nenhuma rota passa mais de uma vez em um mesmo nó. Porém essa propriedade não se aplica para o PCEF, como é mostrado no exemplo da Figura 1. Nesse caso, os nós de coleta são os nós $C1$, $C2$ e $C3$, com coordenadas cartesianas $(1, 3)$, $(1, 2)$ e $(1, 1)$. Seus respectivos nós de entrega são $E1$, $E2$ e $E3$ com coordenadas $(9, 3)$, $(9, 2)$ e $(9, 1)$. O depósito central é dado pelo nó CD , de coordenada $(5, 8)$. A capacidade do

¹guilhermecoelho@estudante.ufscar.br

²munari@dep.ufscar.br

veículo é igual a 15 e a demanda de cada pedido tem valor igual a 10. Considerando as distâncias euclidianas, quando um nó é limitado a apenas uma visita por rota, é necessário que haja duas rotas (A e B) para que todas as demandas sejam atendidas, com uma distância total percorrida de 47,9. Já quando uma rota pode visitar um nó diversas vezes, é possível encontrar uma solução com apenas uma rota (C), com uma distância total percorrida de 41,7.

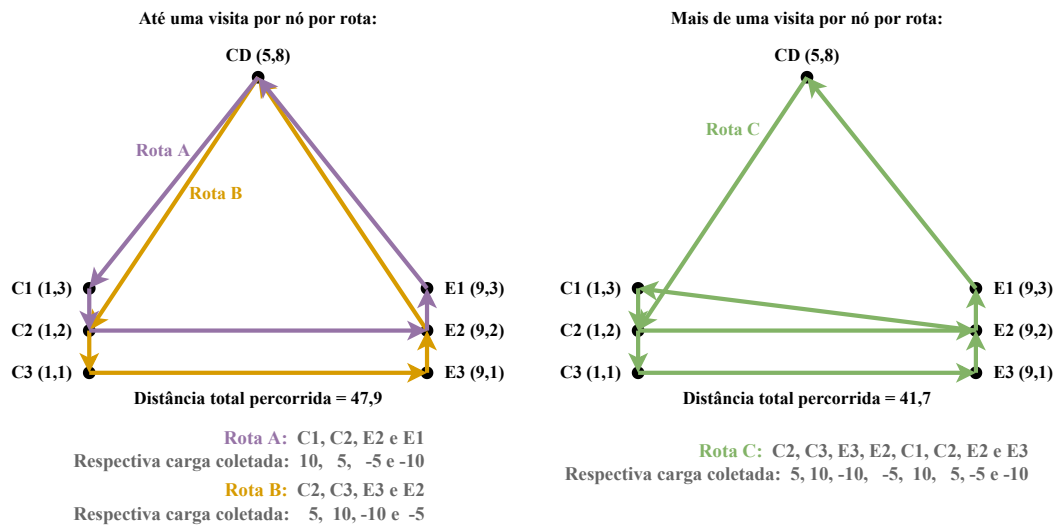


Figura 1: Exemplo de instância onde a solução ótima tem menor valor quando se é permitido mais de uma visita por nó por rota.

Os próximos passos do projeto preveem a realização de novos experimentos computacionais com os modelos desenvolvidos, buscando validá-los e avaliá-los em termos de performance computacional. Além disso, também está previsto o desenvolvimento de heurísticas especializadas para a resolução do problema, de modo a determinar soluções de boa qualidade em tempos relativamente pequenos.

Referências

- [1] M. Dror and P. Trudeau. Savings by split delivery routing. *Transportation science*, 23(2):67–149, 1989.
- [2] Y. Dumas, J. Desrosiers, and F. Soumis. The pickup and delivery problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 54(1):7–22, 1991.
- [3] M. G. S. Furtado, P. Munari, and R. Morabito. Pickup and delivery problem with time windows: a new compact two-index formulation. *Operations Research Letters*, 45(4):334–341, 2017.
- [4] D. Gasque and P. Munari. Metaheuristic, models and software for the heterogeneous fleet pickup and delivery problem with split loads. *Journal of Computational Science*, 59, 2022.
- [5] P. Munari and M. Savelsbergh. Compact formulations for split delivery routing problems. *Transportation Science*, page 1–22, 2022.