

## Otimização robusta para o problema de coletas e entregas

Alex ParanaHyba Abreu<sup>1</sup>  
Helio Yochihiro Fuchigami<sup>2</sup>  
Pedro Munari<sup>3</sup>

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos

Existem diversas variantes do problema de roteamento de veículos (VRP, do inglês *vehicle routing problem*) que incluem características relevantes como prazos nas entregas, veículos de capacidade limitada, frota heterogênea, entregas (coletas) parciais e a possibilidade de coletas e/ou entregas. Uma revisão aprofundada dessas variantes pode ser encontrada em [6].

O problema de coletas e entregas (PDP, do inglês *pickup and delivery problem*) é uma das variantes do VRP com aplicações em vários casos reais e de alta importância como as operações de socorro em desastres, aplicativos de entrega de mercadorias e transporte de passageiros em centros urbanos, movimentações de cargas entre terminais e plataformas *offshore*, entre outras [4]. Este trabalho aborda o PDP com janelas de tempo (PDPTW) e demandas *one-to-one* (um nó de coleta está associado a um nó de entrega e as demandas desses nós devem ser satisfeitas pelo mesmo veículo). Recentemente, foi proposta uma formulação matemática para o PDPTW determinístico que introduz de forma inovadora o uso de uma variável de decisão que garante que uma rota que passe por um determinado nó de coleta, também passe por seu nó de entrega correspondente [3]. Os resultados apontam que o desempenho computacional do modelo proposto pelos autores supera outros modelos da literatura (com três e dois índices) e, portanto, essa formulação é usada como base para este trabalho.

Em situações reais, é usual que os dados sejam incompletos, estimados, fragmentados, indisponíveis ou deficientes de alguma forma. Diferentes abordagens têm sido usadas para incorporar tais incertezas a variantes de VRP. Neste trabalho, considera-se o uso da otimização robusta (OR), que busca por soluções que sejam imunes a essas variações nos dados [1]. Alguns trabalhos vem usando com sucesso este tipo de modelagem de incertezas em variantes do VRP. Em [2], os autores abordam o VRP com janelas de tempo e múltiplos entregadores considerando incerteza na demanda por meio da OR. Já em [7], os autores desenvolvem um modelo que inclui explicitamente equações recursivas da programação dinâmica linearizadas a uma formulação de dois índices para o VRP com janelas de tempo. Os autores consideraram incertezas nas demandas e nos tempos de transporte. O modelo foi efetivo na resolução de instâncias de pequeno porte e demonstrou superioridade em comparação com outros modelos da literatura. Dois modelos e uma meta-heurística são propostos em [9] para o VRP robusto com *backhauls* seletivos. As abordagens demonstraram grande capacidade de resolver o problema com esforço computacional semelhante. Em [8], o autor considera incertezas no tempo de viagem, tempo de serviço no cliente e demanda para o VRP com coletas e entregas simultâneas e vários depósitos. O autor utiliza a OR em uma abordagem de dois estágios baseada em *clusters*. Por fim, em [5], são consideradas incertezas na demanda para o VRP de carros elétricos com coleta e entrega.

---

<sup>1</sup>abreualex@gmail.com

<sup>2</sup>helio@dep.ufscar.br

<sup>3</sup>munari@dep.ufscar.br

Os autores desenvolveram um método de decomposição de duas fases baseado na geração de restrições e colunas.

A revisão da literatura apresentada evidencia que a incorporação de incertezas a variantes do VRP usando OR tem sido bastante ativa nos últimos anos, resultando em abordagens que podem oferecer vantagens significativas no apoio à tomada de decisão. Poucos trabalhos têm considerado a variante com coletas e entregas do tipo *one-to-one*, sendo que nenhum deles recorre à técnica de linearização de equações recursivas para derivar a contraparte robusta [7], mesmo sendo essa a que tem apresentado o melhor desempenho quando utilizada em *solvers* de propósito geral. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver modelos matemáticos e métodos de solução para o problema de coletas e entregas com janelas de tempo, considerando incertezas na demanda e tempos de viagem via OR, além de diferentes tipos de conjuntos de incerteza. Inicialmente, pretende-se abordar este problema de forma determinística e, em seguida, estender usando os métodos que incorporem a incerteza nos dados, em especial a técnica de linearização de equações recursivas. Além disso, pretende-se desenvolver um método *branch-and-cut* especializado, dado pela inserção gradual de desigualdades válidas ao problema que sejam geradas por algoritmos de tempo polinomial, de modo a melhorar a eficiência computacional da resolução.

## Referências

- [1] D. Bertsimas, e M. Sim. The price of robustness, *Operations Research*, 52: 35–53, 2004.
- [2] J. De La Vega, P. Munari e R. Morabito. Robust optimization for the vehicle routing problem with multiple deliverymen, *Central European Journal of Operations Research*, 27: 905–936, 2019.
- [3] M. G. S. Furtado, P. Munari e R. Morabito. Pickup and delivery problem with time windows: a new compact two-index formulation, *Operations Research Letters*, 45:334–341, 2017.
- [4] Ç. Koç, G. Laporte e İ. Tükenmez. A review of vehicle routing with simultaneous pickup and delivery, *Computers & Operations Research*, 122: 104987, 2020.
- [5] X. Liu, D. Wang, Y. Yin e T. C. E. Cheng. Robust optimization for the electric vehicle pickup and delivery problem with time windows and uncertain demands, *Computers & Operations Research*, 151: 106119, 2023.
- [6] A. Mor e M. G. Speranza. Vehicle routing problems over time: a survey, *Annals of Operations Research*, 1–21, 2022.
- [7] P. Munari, A. Moreno, J. De La Vega, D. Alem, J. Gondzio e R. Morabito. The robust vehicle routing problem with time windows: compact formulation and branch-price-and-cut method, *Transportation Science*, 53:1043–1066, 2019.
- [8] D. N. Prayogo. Robust optimization of multi depot vehicle routing problems with simultaneous deliveries and pickups in an uncertain environment. In: *Proceedings of the 17 Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, IEOM, 2021.
- [9] M. J. Santos, E. Curcio, M. H. Mulati, P. Amorim e F. K. Miyazawa. A robust optimization approach for the vehicle routing problem with selective backhauls. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 136:101888, 2020.