

Problema de Roteamento de Veículos com Restrições de Empacotamento Bidimensional, Entrega Fracionada e Poluição

Kamyla Maria Ferreira¹

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Franklina Maria Bragion de Toledo²

Universidade de São Carlos - USP

Thiago Alves de Queiroz³

Universidade Federal de Catalão - UFCAT

Pedro Munari⁴

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Planejar rotas de veículos e determinar o empacotamento das mercadorias dos clientes são decisões que impactam significativamente nos custos logísticos das empresas, principalmente quando consideradas de forma integrada. Se a área ocupada pelas mercadorias não for considerada na determinação das rotas, o empacotamento destas mercadorias pode ser infactível, inviabilizando a execução das rotas. Para apoiar a tomada de decisão neste contexto, surge o Problema de Roteamento de Veículo com Restrições de Empacotamento Bidimensional (2L-CVRP) [2]. Neste trabalho, aborda-se uma extensão deste problema, conhecida como Problema de Roteamento de Veículos Capacitado com Restrições de Empacotamento Bidimensional e Entrega Fracionada para a Minimização da Emissão de Dióxido de Carbono (CO₂) (G2L-SDVRP). O problema permite múltiplas visitas aos clientes e busca reduzir a emissão de dióxido de carbono [3].

No G2L-SDVRP, as mercadorias dos clientes correspondem a itens retangulares que, para o problema estudado, não podem ser empilhados, como ocorre, por exemplo, no transporte de alguns eletrodomésticos da linha branca. Os itens dos clientes devem ser carregados na base retangular do veículo sem sobreposição, obedecendo às suas dimensões, e respeitando a ordem de visita aos clientes dado que os itens não podem ser reorganizados durante a operação de descarregamento nos clientes. Além disso, as mercadorias dos clientes podem ser entregues por um ou mais veículos, em que cada veículo transporta uma parte dos itens. O objetivo do problema é determinar as rotas dos veículos que minimizem a emissão de CO₂.

Neste trabalho, é apresentado um modelo de programação inteira-mista para o G2L-SDVRP e um método exato do tipo *branch-and-cut* (B&C) especializado para resolvê-lo [3]. Experimentos computacionais usando instâncias da literatura para o G2L-SDVRP e 2L-CVRP mostram o desempenho da nova abordagem e o impacto de se incorporar entrega fracionada e emissão de CO₂ ao 2L-CVRP. Os principais resultados são resumidos na Tabela 1 que, para cada classe de instâncias, apresenta o número de soluções ótimas (OPT), o número de soluções em que método

¹kamylamaaria@gmail.com

²fran@icmc.usp.br

³taq@ufcat.edu.br

⁴munari@dep.ufscar.br

parou pelo tempo limite (TL), o tempo computacional médio gasto em segundos, o número de veículos utilizados (VH), o número de cortes realizados para o empacotamento (CE), a diferença relativa percentual média entre o limitante inferior e o superior retornado pelo B&C (GAP_{LI}) e, para o G2L-SDVRP, o número de clientes que tiveram sua entrega fracionada (CS).

Os resultados da Tabela 1 mostram que o tempo gasto para resolver o G2L-SDVRP foi bem maior que o do 2L-CVRP (com diferença de quase 1000 segundos). Para o 2L-CVRP, o método proposto obteve nove soluções ótimas a mais que no G2L-SDVRP. Em relação aos cortes nas rotas por viabilidade do empacotamento, o número de cortes inseridos no 2L-CVRP é maior que no G2L-SDVRP. Ademais, o GAP_{LI} mostra que para o G2L-SDVRP há um maior espaço de busca para tentar melhorar a qualidade das soluções em comparação ao 2L-CVRP.

Classe	2L-CVRP						G2L-SDVRP						
	OPT	TL	Tempo (s)	VH	CE	GAP_{LI}	OPT	TL	Tempo (s)	VH	CS	CE	GAP_{LI}
2	7	5	1614,87	70	3995	2,25	5	7	2279,18	70	12	1096	5,76
3	9	3	957,89	68	1163	1,29	4	8	2571,01	70	13	405	5,23
4	7	5	1093,57	70	360	1,50	6	6	2260,16	71	18	463	5,11
5	6	6	1148,71	64	75	0,65	5	7	2381,68	68	15	41	5,49
2-5	29	19	1203,76	272	5593	1,42	20	28	2373,01	279	58	2005	5,40

Tabela 1: Resultados do G2L-SDVRP e do 2L-CVRP.

Comparando os resultados do G2L-SDVRP e do 2L-CVRP (para todas as soluções, ótimas e com tempo limite alcançado) em relação à diferença percentual média entre as soluções destes problemas, observou-se que, em respeito à solução ótima, esta corresponde a 15 instâncias (de um total de 48). Os resultados mostram que o G2L-SDVRP melhorou as rotas e reduziu a quantidade de emissão de CO_2 do 2L-CVRP em 0,74% e 3,65%, respectivamente. Ao considerar as 33 instâncias terminadas pelo tempo limite, o G2L-SDVRP apenas consegue reduzir a emissão de CO_2 de modo a ocasionar um aumento nos custos das rotas.

Os resultados mostram a relevância do G2L-SDVRP para a tomada de decisão e indicam que a pesquisa por métodos de solução mais eficientes deve ser aprofundada. Assim, o estágio atual desta pesquisa envolve a proposta de uma nova formulação para o problema considerando outros tipos de variáveis de decisão e restrições, que simplificam o modelo base usado no método B&C, além de um novo método de empacotamento baseado em programação dinâmica. Em desenvolvimentos futuros, pretende-se propor um método do tipo *branch-price-and-cut*, baseando-se na técnica de geração de colunas que tem sido amplamente usada em métodos estado-da-arte para a resolução de variantes do problema de roteamento de veículos.

Referências

- [1] J.-F. Côté, G. Guastaroba e M. G. Speranza. The value of integrating loading and routing. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 257, n. 1, p. 89–105, 2017.
- [2] M. Iori, J.-J. Salazar-González e D. Vigo. An exact approach for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *Transportation Science*, INFORMS, v. 41, n. 2, p. 25–264, 2007.
- [3] K. M. Ferreira, T. A. Queiroz e F. M. B. Toledo. An exact approach for the green vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints and split delivery. *Computers & Operations Research*, v. 136, p. 1–27, 2021.