

Métodos de otimização multiobjetivo para o Problema de Roteamento de Estoque Verde

Arianne Alves da Silva Mundim ¹
Maristela Oliveira dos Santos ²

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (ICMC/USP) 1 2
Reinaldo Morabito ³

Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos (DEP/UFSCar) 3

As atividades da cadeia de suprimentos, como produção, transporte e estoque, contribuem para as emissões de gases poluentes que agravam o efeito estufa. O transporte é o maior responsável na emissão de dióxido de carbono da cadeia de suprimentos [4].

Devido as crescentes preocupações com a proteção ambiental, o desenvolvimento sustentável e os diversos efeitos dos sistemas de transporte, pressionaram aqueles que desenvolvem planos e políticas de transporte e logística a incluir considerações ambientais e sociais abrangentes em suas análises econômicas. Com o objetivo de minimizar os efeitos ambientais em problemas logísticos foi dado o nome de “Logística Verde” [6].

Neste trabalho, apresentamos os resultados de dois métodos exatos de escalarização de Otimização Multiobjetivo, aplicados em um problema de logística verde, mais especificamente no problema integrado de roteamento de estoque verde.

O problema de roteamento de estoque (inventory routing problem, IRP), determina simultaneamente, as decisões de gerenciamento de estoque, roteamento de veículos e programação de entrega dos produtos [2]. Enquanto o IRP verde também tem o objetivo de reduzir a emissão do dióxido de carbono [1].

Há uma grande quantidade de trabalhos na literatura que lidam com os IRPs verde, que simplificam o problema como mono-objetivo, ou seja combinam todos os critérios que devem ser otimizados em uma única função objetivo. Porém ainda existem poucos trabalhos que consideram um problema de otimização multi-objetivo, onde todos os objetivos são otimizados, e geralmente obtém um conjunto de soluções que correspondem aos distintos trade-offs que podem ser alcançados quando o problema apresenta objetivos conflitantes. Cada solução neste conjunto indica qual é o melhor valor que pode ser obtido para cada objetivo, dados os valores atuais dos outros critérios [3]. Esse conjunto de soluções permite que o gestor selecione adequadamente aquele que melhor se adapta às demandas atuais.

Ao realizar a programação de entrega dos produtos para atender a demanda dos clientes, fazer o controle de estoque e determinar as rotas com que os veículos devem percorrer, podemos afirmar que a execução deste planejamento emitirá uma certa quantidade de CO_2 .

Para analisarmos o comportamento dos compromissos envolvidos no IRP verde, considerando que o fornecedor tem disponível uma frota heterogênea, modelamos matematicamente o problema, que nomeamos por GIRP, onde temos dois objetivos: (i) os custos operacionais de estoque e transporte e (ii) a emissão total de CO_2 .

¹arianne@usp.br

²mari@icmc.usp.br

³morabito@ufscar.br

Neste artigo aplicamos dois métodos: o método do ϵ -restrito aumentado, de modo a evitar soluções fracamente eficiente, o denominamos por ϵ -GIRP; e o método da métrica de Tchebycheff aumentado, que denominamos por TA-GIRP, é um dos mais poderosos e eficientes para problemas inteiros. Uma das principais vantagens do método é que ele não modifica o espaço de critério.

Para avaliar e comparar os métodos apresentados, aplicamos métricas que comparam as soluções eficientes obtidas tomando por base as soluções não dominadas. Embora as metodologias consideradas são determinísticas, isto é, potencialmente todas deveriam fornecer exatamente as mesmas soluções eficientes, pode acontecer que algumas soluções sejam perdidas, segundo [5], ou serem distintas umas das outras influenciadas pela técnica de escalarização a ser adotada, tempo computacional máximo permitido para resolver cada subproblema, etc. Estas métricas visam quantificar tais disparidades e são descritas em [3].

Realizamos os experimentos computacionais para um total de 75 instâncias com 3 períodos do horizonte de planejamento, 3 tipos de veículos e a quantidade de clientes igual a 5, 10 ou 15. Consideramos 5 pontos de corte para ambos os métodos. Para avaliar as abordagens utilizamos a métrica da soma das áreas do trapézio e a métrica da cardinalidade. Para a métrica da soma das áreas do trapézio o TA-GIRP foi melhor em 63 instâncias, igual em 1 e pior em 11, comparado ao ϵ -GIRP. Para a métrica da cardinalidade o TA-GIRP foi melhor em 13 instâncias, igual em 46 e pior em 16, comparado ao ϵ -GIRP.

Em termos de soluções eficientes, enquanto o TA-GIRP encontrou uma média de 4,63 soluções fortemente eficientes o ϵ -GIRP obteve uma média de 4,59 soluções. Dado a dificuldade do problema estudado, os resultados indicam que as duas abordagens multiobjetivo são competitivas para o GIRP e conseguiram resolver o problema abordado. O TA-GIRP foi levemente melhor em termos de soluções e tempo computacional.

Referências

- [1] C. Cheng, P. Yang, M. Qi e LM Rousseau. Modeling a green inventory routing problem with a heterogeneous fleet, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 97: 97-112, 2017.
- [2] L. Coelho e G. Laporte. A branch-and-cut algorithm for the multi-product multi-vehicle inventory-routing problem, *International Journal of Production Research*, 51: 7156-7169, 2013.
- [3] K. Deb. *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 2001.
- [4] R. Dekker, J. Bloemhof e I. Mallidis. Operations research for green logistics—an overview of aspects, issues, contributions and challenges, *European Journal of Operational Research*, 219: 671–679, 2012.
- [5] A. A. Filho. *Novas Extensões de Técnicas de Escalarizações no Problema de Corte Unidimensional Inteiro Multiobjetivo*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, IMECC, Campinas, 2016.
- [6] C. Macharis, S. Melo, J. Woxenius, T. van Lier. *Sustainable Logistics*. Emerald Group Publishing Limited, 2014.