

Aplicação de Meta-heurística para o Problema Bi-Objetivo de Minimização de Custos e Emissão de CO₂ em Transporte Rodo-Ferroviário de Soja.

Eliel Lucas de Oliveira Silva¹
 Lucas Gabriel de Godoi Arriel
 Jucelina Leandro Borges
 Maria José Pereira Dantas
 PUC Goiás, Goiânia, GO

O Problema de Roteamento de Poluição (PRP), proposto por Bektas e Laporte, é um desafio crucial na otimização de rotas, que trabalha com a minimização bi-objetiva entre custos e emissões de CO₂. Devido à complexidade desse problema, nenhum método determinístico é capaz de encontrar uma solução ótima em tempo polinomial, classificando-o como NP-Hard [2].

Pensando nisso, meta-heurísticas têm sido usadas para encontrar soluções satisfatórias em tempo viável. Para essa pesquisa, optou-se por explorar a extensão do Algoritmo Genético (AG), conhecida como NSGA-II, devido a sua capacidade de encontrar um conjunto de soluções de alta qualidade, por meio do conceito de ótimos de Pareto, que representam a melhor combinação de múltiplos objetivos (MOO), os quais podem ser conflitantes[4].

Foi feita uma revisão sistemática de literatura (RSL) visando estudar o problema e desenvolver seu modelo matemático. Para isso, foram selecionados 25 artigos publicados entre 2018 e 2021, pertinentes ao tema do roteamento de poluição no sistema intermodal rodo-ferroviário, provenientes da Web of Science.

O objetivo deste estudo é abordar a questão delineada por Pera (2021)[3], visando encontrar soluções otimizadas, obtidas por meta-heurística, para o problema de transporte intermodal de soja, que envolve os modais rodoviários e ferroviários, para atender às demandas de múltiplos clientes por meio das ofertas de múltiplos produtores. Os resultados serão validados com instâncias geradas e comparados com soluções do Gurobi em testes com dados reais. Segue a formulação do problema para N produtores, K pontos ferroviários, M portos e O clientes:

$$\text{Minimizar } Z_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{o=1}^O C_{ik} X_{iko} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M \sum_{o=1}^O C_{kj} X_{kjo} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{o=1}^O C_{ij} X_{ijo} \quad (1)$$

$$\text{Minimizar } Z_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{o=1}^O E_{ik} X_{iko} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M \sum_{o=1}^O E_{kj} X_{kjo} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{o=1}^O E_{ij} X_{ijo} \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{o=1}^O X_{iko} + \sum_{j=1}^M \sum_{o=1}^O X_{ijo} \leq a_i, \forall i \in \mathbb{N}_0 \quad (3)$$

¹eliel.lucas3000@gmail.com

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M X_{kjo} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M X_{ijo} = b_o, \forall_o \in \mathbb{N}_0 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{o=1}^O X_{iko} \leq CF_k, \forall_k \in \mathbb{N}_0 \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{o=1}^O X_{kjo} + \sum_{i=1}^N \sum_{o=1}^O X_{ijo} \leq CP_j, \forall_j \in \mathbb{N}_0 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{o=1}^O X_{iko} = \sum_{j=1}^M \sum_{o=1}^O X_{kjo}, \forall_k \in \mathbb{N}_0 \quad (7)$$

Onde:

Z_1, Z_2 : Funções objetivos.

C_{ik} : Custo do transporte do produtor i até o ponto ferroviário k .

C_{kj} : Custo do transporte do ponto ferroviário k até o porto j .

C_{ij} : Custo do transporte do produtor i até o porto j .

E_{ik} : Emissão do transporte do produtor i até o ponto ferroviário k .

E_{kj} : Emissão do transporte do ponto ferroviário k até o porto j .

E_{ij} : Emissão do transporte do produtor i até o porto j .

X_{iko} : Quantidade transportada entre o produtor i e o ponto ferroviário k , para o cliente o .

X_{kjo} : Quantidade transportada entre o ponto ferroviário k e o porto j , para o cliente o .

X_{ijo} : Quantidade transportada entre o produtor i e o porto j , para o cliente o .

a_i : Oferta do produtor i .

b_o : Demanda do cliente o .

CF_k : Capacidade do ponto ferroviário k .

CP_j : Capacidade do porto j .

Serão utilizadas fontes de dados reais, como a ANTT, para construir uma matriz origem-destino e obter informações sobre produção, custos e capacidade dos modais[1].

Agradecimentos

Agradecimento ao CNPQ pela bolsa PIBIC.

Referências

- [1] Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). **Anuário do Setor Ferroviário**. 2023. URL: <https://portal.antt.gov.br/anuario-do-setor-ferroviario/>.
- [2] Tolga Bektaş e Gilbert Laporte. “The Pollution-Routing Problem”. Em: **Transportation Research Part B: Methodological** 45.8 (2011), pp. 1232–1250. ISSN: 01912615. DOI: 10.1016/j.trb.2011.02.004.
- [3] Thiago Guilherme Pera. “Efeitos das mudanças tecnológicas e infraestruturais do transporte para o fomento da logística verde da soja brasileira: abordagens multiobjetivos”. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 2022. DOI: 10.11606/T.11.2022.tde-08042022-162357.
- [4] Shanu Verma, Millie Pant e Vaclav Snasel. “A Comprehensive Review on NSGA-II for Multi-Objective Combinatorial Optimization Problems”. Em: **IEEE Access** 9 (2021), pp. 57757–57791. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3070634.