

Um modelo matemático no auxílio da minimização das emissões de CO_2

Felipe Goulart Moraes¹

PPGEP-So, UFSCar, Sorocaba, SP

Deisemara Ferreira²

DFQM, UFSCar, Sorocaba, SP

Reinaldo Morabito³

DEP, UFSCar, São Carlos, SP

Pedro Luis Miranda Lugo⁴

HEC, Montréal, Canadá

No atual panorama de competitividade encontrado nas empresas e organizações busca-se a otimização dos processos, aumento nos níveis de serviços e, aumento da satisfação dos consumidores, em geral com o objetivo de minimização dos custos (ou maximização dos lucros) [1]. Além desses elementos, tem sido crescente a preocupação das empresas com os aspectos ambientais. Elas têm buscado por estratégias e tecnologias que reduzam de fato as emissões de CO_2 na atmosfera. Essas estratégias são importantes e trazem benefícios como: melhoria na imagem da empresa através do seu compromisso com as mudanças climáticas; clientes mais satisfeitos e fiéis; atendimento às legislações vigentes; aumento da competitividade e rentabilidade no longo prazo; permite a comercialização dos créditos de carbono.

A emissão de CO_2 pode ser resultado de diversas etapas da cadeia de suprimentos, seja na produção, através da emissão pelos maquinários ao realizar o gasto de energia, como também na emissão resultado da queima de combustível dos veículos de transporte, por exemplo [2]. Em problemas onde a distribuição de produtos é uma decisão importante a emissão de gás carbônico tem sido considerada principalmente no momento da definição do roteamento de veículos, surge então o *Pollution Routing Problem* [3]. Um modelo de otimização linear inteira mista que considera as decisões de roteamento de veículos visando a minimização da emissão de CO_2 .

Na literatura científica relacionada a esse problema as emissões de carbono são calculadas principalmente levando-se em consideração a carga do veículo, o tamanho das rotas e velocidade do veículo. Quanto mais pesada é a carga mais o motor é forçado e, como consequência, mais CO_2 é emitido. Portanto, é necessário considerar restrições de fluxo de carga dos veículos. No caso das rotas, quanto mais rotas mais combustível é gasto. Além disso, há uma decisão a ser tomada sobre a velocidade utilizada no deslocamento do percurso de um cliente para outro. Isto porque, cada cliente estabelece um horário disponível para receber seus pedidos (janelas de tempo). Dependendo da velocidade há mais ou menos emissões de carbono [4].

Um setor da indústria onde a minimização das emissões de carbono pode ter grande impacto nas decisões de roteamento é no setor moveleiro, sobretudo nas indústrias de móveis de aço. Isso porque, a entrega dos pedidos envolve rotas longas, janelas de tempo, e cargas pesadas [5].

Até onde temos conhecimento na literatura científica, o Problema Integrado de Planejamento da Produção e Roteamento de Veículo no Setor de móveis considerando o impacto da emissão de carbono ainda não foi abordado.

¹felipe.goulartmoraes@gmail.com

²deise@ufscar.br

³morabito@ufscar.br

⁴miranda-pedro@outlook.com

No presente trabalho estudamos o impacto da consideração da emissão de CO_2 no Problema Integrado de Planejamento da Produção e Roteamento de Veículo no Setor de Móveis de Aço. Para tanto um modelo matemático de otimização linear inteira mista baseado nos modelos propostos por [3] e [5] é proposto. Comparamos o modelo com e sem a consideração das emissões de CO_2 para mostrar o impacto dessas decisões nas rotas dos veículos. Os dados utilizados, embora obtidos da literatura, são baseados em dados reais estudados nos trabalhos de [4] e [5].

A Tabela 1 abaixo mostra os custos da solução de uma instância ilustrativa, resolvida com e sem a consideração dos custos de CO_2 .

Tabela 1: Custos de produção e roteamento de veículos sem e com custos de CO_2 .

| Função Objetivo | Sem Custos de CO_2 | Com Custos de CO_2 |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| Setup | 5.400 | 7.200 |
| Estoque | 374,64 | 305,28 |
| Combustível | 3.474,87 | 2.885,41 |
| Distância | 3993 | 3089 |

Na Tabela 1 é possível observar que a consideração dos custos de CO_2 implicam na diminuição das distâncias percorridas e, conseqüentemente, na diminuição do consumo de combustível. Para que isso fosse possível foi necessário realizar mais *setups*, o que também resultou no aumento desses custos mas, por outro lado, na diminuição dos custos de estoques.

Os resultados obtidos mostram que, o modelo matemático representa de forma adequada o problema real e explicita a importância de se considerar os pesos das emissões de carbono no momento da definição de roteamento.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) -Código de Financiamento 001 e apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) processos 315874/2021-0 e 405702/2021-3, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processo 2016/01860-1.

Referências

- [1] M. E. Porter. “Location , Competition , and Economic Development : Local Clusters in a Global”. Em: **Economic development quarterly** 14.1 (2000), pp. 15–34. DOI: 10.1177/089124240001400105.
- [2] M. Ganji, H. Kazemipoor, S. M. H. Molana e S. M. Sajadi. “A green multi-objective integrated scheduling of production and distribution with heterogeneous fleet vehicle routing and time windows”. Em: **Journal of Cleaner Production** 259 (2020), p. 120824. ISSN: 0959-6526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120824.
- [3] T. Bektaş e G. Laporte. “The Pollution-Routing Problem”. Em: **Transportation Research Part B: Methodological** 45.8 (2011), pp. 1232–1250. DOI: 10.1016/j.trb.2011.02.004.
- [4] R. Qiu, J. Xu, R. Ke, Z. Zeng e Y. Wang. “Carbon pricing initiatives-based bi-level pollution routing problem”. Em: **European Journal of Operational Research** 286.1 (2020), pp. 203–217. ISSN: 03772217. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.03.012.
- [5] P. L. Miranda, R. Morabito e D. Ferreira. “Mixed integer formulations for a coupled lot-scheduling and vehicle routing problem in furniture settings”. Em: **Infor** 57.4 (2019), pp. 563–596. ISSN: 19160615. DOI: 10.1080/03155986.2019.1575686.