

MODELO DE ROTEIRIZAÇÃO PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES NO TRANSPORTE URBANO DE CARGAS

Mayara Helen S. de Andrade Fialho

Bruno Vieira Bertoncini

Universidade Federal do Ceará

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

RESUMO

O objetivo do trabalho é propor um modelo de roteirização para o transporte urbano de carga (TUC) com foco na logística sustentável. Uma revisão sistemática da literatura será conduzida, com o intuito de obter os parâmetros dos estudos sobre logística sustentável nos últimos anos. Em paralelo, serão levantados na literatura os parâmetros que caracterizam o TUC, e será definida uma escala de valores, com base na relação que esses parâmetros têm com os aspectos ambientais urbanos. A partir desses dados, será formatado um modelo conceitual capaz de classificar os trechos urbanos de acordo com os impactos ambientais a que estão submetidos na atividade de TUC, e um modelo matemático de roteirização para o TUC, considerando os dados e informações levantadas, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais da rota. Ao final, será realizada a aplicação do modelo, comparando os resultados obtidos com os dos modelos tradicionais.

1. INTRODUÇÃO

O impacto da logística nas mudanças climáticas tem atraído cada vez mais atenção nos últimos anos, principalmente devido às novas pesquisas científicas revelarem que o aquecimento global apresenta uma forte tendência de aumento, além de ser uma ameaça mais imediata do que se pensava anteriormente (Mckinnon *et al.*, 2010). Por conta disso, diminuir as emissões tem sido um assunto vital para muitos estudos na literatura por conta dos efeitos que o sistema de transportes gera ao meio ambiente (Rabbani *et al.*, 2018). Mais especificamente, o que tem atraindo a atenção de muitos pesquisadores é a necessidade de eficiência e sustentabilidade no sistema geral de transporte de carga, principalmente no contexto urbano (Perboli e Rosano, 2019) e, mesmo o transporte verde de mercadorias tendo gerado uma grande literatura, isso não equipa os formuladores de políticas com todas as informações e ferramentas necessárias, existindo, ainda assim, lacunas em várias áreas de estudo (Mckinnon, 2019).

O transporte urbano de mercadorias tem função vital para o desenvolvimento econômico das cidades, mas também, assim como os demais esforços de deslocamento em áreas urbanas, pode ser considerado um problema para o ambiente urbano, agravando os níveis de congestionamento, emissão de poluentes e ruído (Oliveira *et al.*, 2019). A distribuição de mercadorias prejudica a qualidade do ar local, gera ruído e vibração, causa acidentes e contribui significativamente para o aquecimento global, além de contribuir para os congestionamentos, aumento dos custos logísticos tendo, conseqüentemente, reflexo no preço dos produtos (Mckinnon *et al.*, 2010; Nuzzolo *et al.*, 2012).

Reduzir as emissões de gases nocivos e de efeito estufa no setor de transporte de mercadorias, em consonância com os objetivos das políticas públicas, exigirá melhorias na eficiência energética e uma grande mudança para fontes alternativas de energia, e ambas as opções já foram pesquisadas ativamente, principalmente no que diz respeito a transporte por caminhão e remessa, embora ainda haja grande incerteza sobre os caminhos mais econômicos para a descarbonização (Mckinnon, 2010 *apud* Mckinnon, 2019).

Dentre o conjunto de opções e caminhos a serem seguidos, saber qual combinação representa a melhor rota a ser seguida é fundamental, e a otimização é uma ferramenta muito utilizada

para este fim. Segundo Macrina *et al.* (2019), o desenvolvimento de sistemas de transporte e distribuição eficientes e ecologicamente corretos, a fim de garantir o melhor compromisso entre minimização de custos e redução negativa de externalidades ambientais, representa um desafio importante a ser analisado, e otimizar os processos logísticos pode criar vantagens competitivas, além de aumentar a confiabilidade das empresas, e isso significa que um projeto eficiente de rede logística, que considera as limitações do mundo real, pode ser de grande importância neste cenário (Rezaei *et al.*, 2019).

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho é a concepção de um modelo de roteirização para o transporte urbano de cargas com foco na logística sustentável, tendo como objetivos específicos: (a) levantar as características e parâmetros considerados nos estudos voltados à logística sustentável; (b) definir um modelo para identificação dos trechos urbanos críticos pelos aspectos ambientais; e (c) propor um modelo conceitual e matemático de roteirização para o TUC, considerando tanto a minimização das externalidades ambientais quanto a maior eficiência energética dos transportes de cargas.

2. MÉTODO

O método proposto consiste em quatro etapas, descritas a seguir.

2.1. Etapa 1: Estado da arte

Nesta etapa, serão levantados, através de uma revisão sistemática da literatura, os estudos que abordam a logística sustentável, abrangendo as temáticas *green logistics (GL)*, *vehicle routing problem (VRP)*, *green vehicle routing problem (GVRP)* e *energy efficiency (EE)*. O objetivo desta fase é identificar como os estudos relacionados à logística sustentável evoluíram nos últimos anos. Em seguida, serão levantadas as características dos estudos, o perfil das pesquisas e os modelos utilizados, a fim de identificar as variáveis e os parâmetros utilizados nestes tipos de abordagem de roteirização.

2.2. Etapa 2: Parâmetros do TUC

Nesta etapa, serão levantados os parâmetros que caracterizam o transporte urbano de cargas (TUC), de forma a pontuar como este tipo de transporte se comporta no meio urbano. Estes parâmetros serão levantados com base em um levantamento bibliográfico sobre o tema. Em seguida, será definida, para cada parâmetro, uma escala de valores com base na relação que estes têm com os aspectos ambientais urbanos. Uma vez definida a escala de valores para cada parâmetro, relacionando o TUC e o ambiente urbano, será definido um modelo conceitual capaz de classificar os trechos urbanos de acordo com os impactos ambientais a que estão submetidos na atividade de transporte de cargas, onde será possível identificar trechos classificados como críticos ambientalmente e trechos na iminência de se tornarem críticos por conta da recorrência dessa atividade.

2.3. Etapa 3: Modelo de roteirização com foco ambiental

Com as informações sobre os parâmetros e a classificação dos trechos levantados nas etapas anteriores, será idealizado um modelo matemático de roteirização urbana com foco ambiental, capaz de identificar, para qualquer padrão urbano de distribuição de cargas, o quanto as rotas do TUC podem ser críticas em relação aos aspectos ambientais urbanos. Dessa forma, o objetivo da função será a minimização dos impactos ambientais (y), a partir dos parâmetros levantados nas etapas anteriores e variáveis utilizadas nos modelos relacionados à logística sustentável, considerando tanto a minimização das externalidades ambientais quanto a maior

eficiência energética dos transportes de cargas. Assim, esta etapa consiste na determinação do melhor arranjo de variáveis e parâmetros para compor a função objetivo proposta, bem como no levantamento das restrições que compõem o modelo, a fim de obter um modelo matemático que atenda os objetivos buscados.

2.4. Etapa 4: Aplicação do modelo

Nesta fase, será realizada a aplicação do modelo proposto, através da utilização de dados hipotéticos e da comparação entre os resultados do modelo proposto e os dos modelos tradicionais de roteirização existentes.

3. RESULTADOS PARCIAIS

Os resultados parciais da pesquisa são referentes à Etapa 1 do método. Uma pesquisa sistemática foi realizada sobre os temas *green logistics* (GL), *vehicle routing problem* (VRP), *green vehicle routing problem* (GVRP) e *energy efficiency* (EE) através da plataforma de buscas *Web of Science*, e os resultados foram analisados conforme as categorias: grupo de palavras-chave (GVRP, VRP+GL e VRP+EE); foco do trabalho desenvolvido (matemático ou conceitual); tipo de abordagem computacional (algoritmo ou software de otimização); tipo de dados utilizados (reais ou hipotéticos); e objetivo da função adotada (combustível, tempo, distância, emissões e operações logísticas).

A pesquisa resultou num levantamento de 100 publicações distintas. No total, 58% das publicações correspondem ao grupo de palavras-chave GVRP, 33% ao grupo VRP+GL e 9% ao grupo VRP+EE entre os anos de 2007 e 2020.1. Na análise do grupo de artigos VRP+EE, no entanto, somente seis das nove publicações encontradas abordavam temas relacionados à logística e transportes e, sendo este o foco desta pesquisa, somente estes foram considerados, totalizando 97 publicações.

Sobre o foco dos trabalhos desenvolvidos nas pesquisas, 84% abordam modelos matemáticos e 13% modelos conceituais de pesquisa, com crescimento considerável a partir de 2017. Dentre os que desenvolvem modelos matemáticos, 50% desenvolveram um algoritmo matemático como parte da pesquisa, 13% utilizaram um software de otimização disponível no mercado e 37% utilizaram ambas as abordagens. A grande maioria utiliza o algoritmo matemático e/ou o software de forma conjunta, tendo um crescimento significativo neste tipo de abordagem a partir de 2017. Sobre o tipo de dados utilizados na aplicação dos modelos, 71% utilizaram dados hipotéticos e 29% utilizaram dados reais. Quanto ao objetivo da função empregada, 28% buscaram a minimização das emissões, 24% buscaram a minimização do consumo de combustíveis, 26% buscaram a redução de custos nas operações logísticas (como distribuição, localização dos depósitos, custo com mão-de-obra e nível de serviço), 11% buscaram minimização do tempo e 11% a minimização da distância. Foi possível observar que, apesar das pesquisas serem voltadas aos objetivos ambientais, boa parte das funções ainda buscam objetivos operacionais e tradicionais, sem considerar os aspectos ambientais nas suas formulações.

Assim, diante dos levantamentos realizados, foi possível perceber um perfil e tendência dos trabalhos utilizando modelos matemáticos, numa abordagem computacional mais voltada ao desenvolvimento de algoritmo, com utilização de dados hipotéticos e objetivos mais voltados à minimização das emissões e redução de custos das operações logísticas.

Sobre os parâmetros dos modelos matemáticos adotados, aproximadamente 50% dos parâmetros identificados nos modelos foram referentes a tempo, custo, demanda, velocidade e capacidade. Apesar dos artigos selecionados abordarem o *green logistics*, os parâmetros relacionados a emissões e consumo de combustível foram abordados em somente 5% das publicações analisadas, apontando, portanto, uma possível lacuna de pesquisa.

4. RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se, com esta pesquisa, identificar as características dos estudos voltados à temática *green logistics* (GL), *vehicle routing problem* (VRP), *green vehicle routing problem* (GVRP) e *energy efficiency* (EE) de forma que, juntamente com o levantamento e mensuração dos parâmetros que caracterizam o TUC e com a identificação de trechos críticos pelos aspectos ambientais, seja possível a concepção de um modelo conceitual e matemático de roteirização, cuja função objetivo vise a minimização dos impactos ambientais dos transportes de carga no ambiente urbano, considerando tanto a minimização das externalidades ambientais quanto a maior eficiência energética dos transportes de cargas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Macrina, G.; Laporte, G.; Guerriero, F.; Di Puglia Pugliese, L. (2019) An energy-efficient green-vehicle routing problem with mixed vehicle fleet, partial battery recharging and time Windows. *European Journal of Operational Research*, v. 276, n. 3, p. 971-982.
- Mckinnon, A.C. (2019) in *A Research Agenda for Transport Policy* eds. John Stanley and David A Hensher. Edward Elgar, p. 99-107.
- Mckinnon, A.C.; Cullinane, S.; Browne, M.; Whiteing, A. (2010) *Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics*. Kogan Page, 384 p.
- Nuzzolo, A.; Crisalli, U.; Comi, A. (2012) A Delivery Approach Modeling for Urban Freight Restocking. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, v. 6 (3).
- Oliveira, L. K. de (Org.); Nascimento, C. O. L.; Pinto, P. H. G.; Santos, O. R.; Bracarense, L. dos S. F. P.; Oliveira, R. L. M. de; Schreiner, S.; Bertocini, B. V.; Yamashita, Y. (2019) *A logística urbana no Brasil: A inserção do transporte urbano de mercadorias nas políticas públicas*. 1. ed. Rio de Janeiro: PoD Editora, 2019. 134p.
- Perboli, G.; Rosano, M. (2019) Parcel delivery in urban areas: Opportunities and threats for the mix of traditional and green business models. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 99, p. 19-36.
- Rabbani, M.; Tahaei, Z.; Farrokhi-Asl, H.; Saravi, N. A. (2018) Using meta-heuristic algorithms and hybrid of them to solve multi compartment Vehicle Routing Problem. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, v. 2017-December, p. 1022-1026.
- Rezaei, N.; Ebrahimnejad, S.; Moosavi, A.; Nikfarjam, A. (2019) A green vehicle routing problem with time windows considering the heterogeneous fleet of vehicles: Two metaheuristic algorithms. *European Journal of Industrial Engineering*, v. 13, N. 4, p. 507-535.