


# TÉCNICAS E METODOLOGIAS PARA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.933112427092>

*Data de aceite: 02/10/2024*

### **Diogo Sousa de Sousa**

Graduando do Curso de Engenharia de Transportes Universidade Federal do Maranhão-UFMA, São Luís, Maranhão, Brasil  
<https://orcid.org/0009-0005-1819-4346>

### **Cláudio Henrique Fonseca da Silva**

Graduando do Curso de Engenharia de Transportes Universidade Federal do Maranhão-UFMA, São Luís, Maranhão, Brasil

### **Fabiana Frazão Frazão**

Docente do Curso de Engenharia de Transportes Universidade Federal do Maranhão-UFMA, São Luís, Maranhão, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0002-9804-4540>

**RESUMO:** Objetivou-se neste trabalho é realizar uma revisão sistemática das principais técnicas e metodologias empregadas na otimização de rotas no transporte rodoviário de cargas. Adotou-se uma abordagem metodológica baseada em pesquisa bibliográfica na plataforma Semantic Scholar. Os descritores escolhidos foram “transporte rodoviário” e “roteirização”. Esses termos foram combinados utilizando

o operador booleano “AND” para refinar os resultados. Identificou-se 8 estudos relevantes para a revisão sistemática. O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) destacou-se como método de roteirização mais utilizado. Pode-se concluir que nos próximos anos surjam mais técnicas para roteirização ou até mesmo novos métodos para aprimorar a resolução de problemas já existentes, como é o caso do PCV.

**Palavras-chave:** Caxeiro viajante; logística; transporte de cargas; gestão de transporte; roteirização.

## TECHNIQUES AND METHODOLOGIES FOR ROUTE OPTIMIZATION IN ROAD CARGO TRANSPORT A SYSTEMATIC REVIEW

**ABSTRACT:** The aim of this work is to carry out a systematic review of the main techniques and methodologies used in route optimization in road freight transport. A methodological approach based on bibliographic research on the Semantic Scholar platform was adopted. The descriptors chosen were “road transportation” and “routing”. These terms were combined using the Boolean operator “AND” to refine the results. Eight relevant

studies were identified for the systematic review. The Traveling Salesman Problem (TSP) stood out as the most widely used routing method. It can be concluded that in the coming years more routing techniques will emerge or even new methods to improve the resolution of existing problems, such as the PCV.

**KEYWORDS:** Traveling salesman; logistics; freight transport; transport management; routing.

## INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário de cargas desempenha um papel crucial na economia brasileira, sendo responsável por movimentar uma parcela expressiva dos produtos e mercadorias pelo país. A soja, representa umas das cargas com mais movimentação no modal rodoviário e é uma das principais commodities agrícolas do Brasil, representando uma parcela significativa do PIB do país, com uma produção estimada em 160 milhões de toneladas para a safra 2023/2024. O escoamento da safra de soja é um desafio logístico importante, pois envolve o transporte rodoviários de grandes volumes de carga para longas distâncias, sendo os portos o principal destino para exportação (ANTT, 2024).

De acordo com dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024), aproximadamente 61% de toda a carga transportada no Brasil é realizado por meio das estradas, consolidando o modal rodoviário como o principal elo logístico. No entanto, essa dependência também traz consigo desafios significativos, tanto em termos operacionais quanto ambientais.

Considerando a crescente demanda por transporte de cargas e a falta de infraestrutura intermodal, o Brasil enfrenta um desafio ambiental crítico relacionado ao aumento significativo nas emissões de CO<sub>2</sub> (Brasil, 2019). A sustentabilidade do transporte rodoviário é um tema cada vez mais premente, pois o modal é considerado o vilão das emissões de CO<sub>2</sub>, com o consumo de diesel e a emissão de gases de efeito estufa (Barboza, 2017). O setor de transporte brasileiro é responsável por cerca de 35% do consumo de combustíveis fósseis e por mais de 48% das emissões de CO<sub>2</sub> no país (Brasil, 2019).

A busca por rotas otimizadas torna-se essencial não apenas para reduzir custos operacionais, mas também para mitigar os impactos ambientais associados às emissões de gases de efeito estufa. A complexidade inerente aos problemas de roteirização, especialmente quando envolvem múltiplos veículos, pontos de coleta e entrega, e restrições logísticas, torna essa busca por soluções eficientes um desafio contínuo.

O objetivo deste artigo de revisão sistemática é realizar uma busca na literatura científica para identificar as principais técnicas e metodologias empregadas na otimização de rotas no transporte rodoviário de cargas.

## METODOLOGIA

Para a elaboração deste artigo, adotou-se uma abordagem metodológica baseada em pesquisa bibliográfica. Utilizou-se a plataforma Semantic Scholar para realizar a busca. Os descritores escolhidos foram “transporte rodoviário” e “roteirização”. Esses termos foram combinados utilizando o operador booleano “AND” para refinar os resultados.

Inicialmente, foram encontradas um total de 1380 publicações relacionadas aos descritores mencionados, sem limitar o tempo. Em seguida, foram aplicados três critérios de exclusão: Período de publicação (considerando apenas publicações no intervalo de 2015 a 2024); Eliminação de duplicatas (Foram excluídas publicações repetidas) e Escopo da revisão (Foram excluídos estudos que não estavam diretamente relacionados à otimização de rotas no transporte rodoviário).

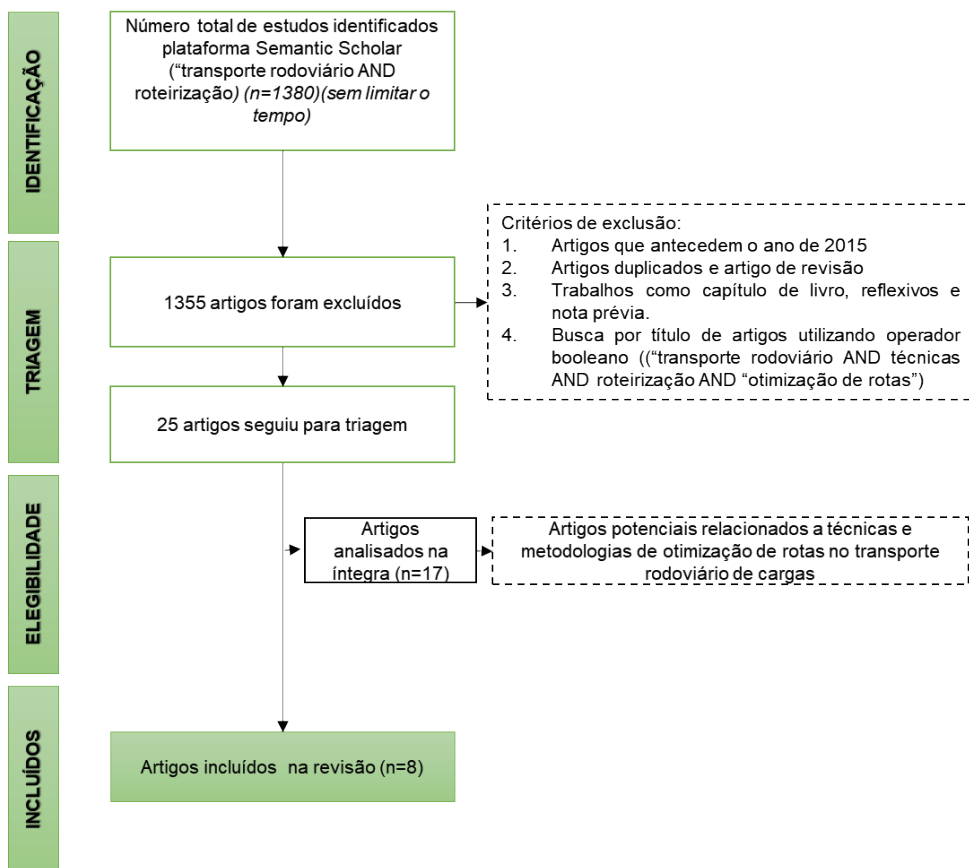


Figura 1. Fluxograma da seleção dos artigos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Após a aplicação dos critérios de exclusão, restaram 25 publicações. Realizou-se a leitura dos resumos e, quando necessário, dos textos completos das publicações selecionadas. Dessa análise, identificou-se 8 estudos relevantes para aprofundamento. Essa metodologia permitiu obter uma amostra representativa de estudos científicos sobre otimização de rotas no transporte rodoviário.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A otimização de rotas é um tema recorrente na logística, como evidenciado pelos artigos listados, conforme é ilustrado na Tabela 1. Observa-se uma variedade de setores beneficiados por esses estudos, incluindo distribuição de produtos de limpeza, materiais de construção, óleo lubrificante e alimentos. A seguir a tabela contendo as metodologias e técnicas encontradas nesta pesquisa:

Otimizar rotas de transporte em estradas florestais.	Carga em geral	Sistemas de Informações Geográficas (SIG)/análise de rede; ferramenta "Network Analyst" do ArcGIS Pro.	Ramos et al., 2024
Otimizar rota de veículos e seus impactos na logística de distribuição	Produtos de limpeza	Software LOGWARE	Almeida et al, 2020
Descrever técnicas de pesquisa operacional aplicadas na otimização de uma rede de lojas de materiais de construção	Materiais de construção	PCV	Moro et al, 2018
Aplicar o Problema do caixeiro viajante na otimização de veículos de transporte rodoviário em uma distribuidora de óleo lubrificante a granel em fortaleza e região metropolitana.	Óleo lubrificante a granel	PCV	Araripe e Kloeckner, 2017
Roteirizar veículos através da aplicação do Problema do Caixeiro Viajante	Empresa de alimentos	PCV	Miranda et al.,2021
Otimizar rotas logísticas por meio da abordagem <i>Team Orienteering Problem</i> baseada em metaheurística GRASP e <i>Path Relinking</i>	Não especificado	TOP baseado em metaheurística GRASP e path relinking	Funk e Fiorese, 2021
Utilizar algoritmo Genético na Solução de Problemas de Otimização de rotas	Não especificado/dados fictícios	Algoritmo genético na execução do PCV	Neto e Filho 2017
Realizar estudo comparativo entre o método simplex e o método evolutionary para a otimização de rotas de distribuidores na cidade de São José do Rio Preto - SP	Bebidas	Solver excel	2018

Tabela 1: Técnicas e metodologias usadas para a otimização de rotas no transporte de cargas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) destaca-se como a metodologia mais utilizada, sendo aplicado em três dos oito artigos analisados (Moro et al., 2018; Araripe e Kloeckner, 2017; Miranda et al., 2021). Isso sugere que o PCV continua sendo uma abordagem relevante e eficaz para a otimização de rotas em diferentes contextos logísticos, abrangendo desde a distribuição de materiais de construção até a roteirização de veículos em empresas de alimentos.

Além do PCV, outras metodologias foram identificadas. O uso de software específico, como o LOGWARE, foi mencionado em um artigo (Almeida et al., 2020), demonstrando a aplicação de ferramentas tecnológicas customizadas para a otimização de rotas, especialmente no contexto de distribuição de produtos de limpeza. Técnicas mais avançadas, como o *Team Orienteering Problem* (TOP) baseado em metaheurística GRASP e path relinking, foram abordadas por Funk e Fiorese (2021), indicando a adoção de metodologias mais sofisticadas para resolver problemas complexos de otimização de rotas em cenários não especificados.

Além disso, o uso de algoritmos genéticos na solução do PCV foi explorado por Neto e Filho (2017), o que sugere uma tendência crescente no uso de algoritmos evolutivos para a resolução de problemas de otimização.

É interessante notar que dois dos artigos mais recentes (Funk e Fiorese, 2021; Miranda et al., 2021) aplicam metodologias distintas: um utiliza o tradicional PCV, enquanto o outro emprega a abordagem avançada do TOP com GRASP e path relinking. Isso sugere que, embora novas técnicas estejam emergindo, métodos mais estabelecidos, como o PCV, continuam relevantes e aplicáveis.

Ademais, dois dos estudos não especificaram a carga transportada (Funk e Fiorese, 2021; Neto e Filho, 2017), focando mais na metodologia e na aplicação teórica. Isso pode indicar uma tendência de pesquisa voltada para o desenvolvimento e comparação de métodos de otimização, independentemente do tipo de carga.

Segundo o trabalho de Ramos et al. (2024), para a otimização de rotas foi utilizado um modelo de análise de dados em rede, empregando a ferramenta “Network Analyst” do ArcGIS Pro. O estudo demonstrou que a proposta metodológica foi eficaz no planejamento e na determinação das melhores rotas de transporte em estradas florestais, desempenhando um papel significativo no desenvolvimento tecnológico e na competitividade do processo logístico. Por meio da utilização de SIG, foi possível estabelecer o padrão da malha viária da região estudada, otimizando o transporte de madeira com menor distância, maior segurança e menor tempo de percurso.

Em síntese, a análise revela um campo de estudo ativo e em evolução, com a aplicação de métodos tradicionais e inovadores para a otimização de rotas em diversos setores logísticos. A continuidade desses estudos ao longo dos anos demonstra a importância persistente da otimização de rotas na busca por eficiência logística. Na figura 2, há registro dos principais métodos de roteirização encontrado na literatura (Macedo et al, 2022; Miranda et al., 2021, Ramos et al., 2024).

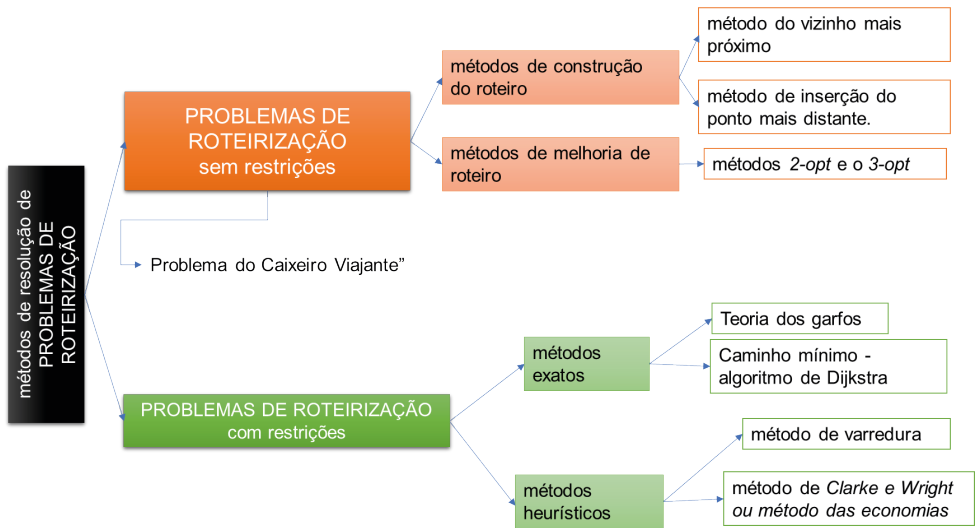


Figura 2: Principais métodos de roteirização.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Segundo Macedo et al. (2022), a importância da roteirização de transporte na logística tem papel crucial. A roteirização é fundamental no processo da saída do produto até a entrega ao cliente, sendo assim é evidente a importância para o setor logístico, pois, para um trabalho eficaz é necessário pensar nas melhores rotas e itinerários, devidos imprevisto e gargalos no trajeto. Na figura 2, apresenta alguns métodos de resolução de problemas de roteirização (com e sem restrição).

Novaes (2004) define dois tipos de roteirização, a roteirização sem restrições e a roteirização com restrições. Na roteirização com restrições, existem limites de tempo e capacidade de carga, além de precisar definir os bolsões de entrega, etapa que já está definida na roteirização sem restrições. Existem diversos tipos de métodos para contornar essas restrições, muitos deles envolvem softwares e sistemas complexos de cálculos. É possível destacar dois métodos que são muito utilizados e relativamente mais simples, que são o método de varredura e o método de Clarke e Wright. Na roteirização sem restrições ou PCV (Problema do Caixeiro Viajante), as restrições como capacidade de carga e tempo de percurso já estão resolvidas.

O Problema do caixeiro viajante consiste em encontrar o roteiro ou a sequência de cidades a serem visitadas por um caixeiro-viajante, que minimize a distância total percorrida e assegure que cada cidade seja visitada exatamente uma vez evitando cruzamentos (Ballou, 2006; Menchik, 2010; Macedo et al, 2022).

## CONCLUSÃO

Pode-se concluir que técnicas já estabelecidas, como o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), são amplamente utilizadas devido à sua grande versatilidade e credibilidade. No entanto, estão surgindo novos métodos tanto para resolver o PCV quanto para otimização em geral. É bastante provável que nos próximos anos surjam mais técnicas para roteirização ou até mesmo novos métodos para aprimorar a resolução de problemas já existentes, como é o caso do PCV.

## REFERÊNCIAS

CNT-CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT - Plano CNT de Logística. Disponível em: <[http://www.cnt.org.br\\_paginas\\_plano-cnt-transportelogistica\\_](http://www.cnt.org.br_paginas_plano-cnt-transportelogistica_)>. Acesso em 01 de junho de 2024.

ALMEIDA, M. das N.; SANTOS NETO, B. R. dos; MOURA FILHO, A. M. de; SANTOS, A. A. dos. Otimização da rota de veículos e seus impactos na logística de distribuição: um estudo de caso em uma distribuidora de produtos de limpeza. *Revista Produção Online*, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 598–626, 2020. DOI: 10.14488/1676-1901.v20i2.3356. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/3356>. Acesso em: 2 de julho de 2024.

ANTT. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Panorama do Setor 2023/2024 Boletim de Informações Gerenciais.

ARARIPE, R. B. ; KLOECKNER, N.V.R. . Problema do caixeiro viajante (PCV) aplicado a otimização de roteiros de veículos de transporte rodoviário de uma distribuidora de óleo lubrificante a granel em Fortaleza e região metropolitana. *REVISTA DE ENGENHARIA DA UNI7* , v. 1, p. 137-185, 2017.

BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da cadeia de suprimento /logística empresarial 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARBOZA, S.L. (2017). O papel mediador da legislação ambiental na relação entre gestão logística verde e desempenho em empresas logísticas Iguaçuenses..

BRASIL, Ministério da Infraestrutura, Empresa de Planejamento e Logística – EPL (2019b) Diagnóstico Logístico – 2010-2018. Brasília: EPL. Disponível em: Brasília, DF. 2014. Disponível em\_

FRANCO NETO, M. F. ; FACCIONI FILHO, M. . A Utilização do Algoritmo Genético na Solução de Problemas de Otimização de Rotas. *ReTIC - Revista da Informação e Comunicação: Teoria e Prática Universidade do Sul de Santa Catarina* , v. 1, p. 2, 2017.

FUNK, T. ; FIORESE, A. ; BALDO, F. . Otimização de Rotas Logísticas por meio da abordagem Team Orienteering Problem baseada em metaheurística GRASP e Path Relinking. In: XV Brazilian Congress on Computational Intelligence, 2021, Online. Anais do XV Brazilian Congress on Computational Intelligence, 2021. p. 1-8

MACEDO, E. DA S.; SOUZA, E. S.; BIGARAN, R. DE F. Desafios e técnicas para a roteirização na logística de transportes. XII Fateclog – os impactos das novas demandas pós-pandemia nos sistemas logísticos das organizações Fatec Mauá. Mauá/SP – Brasil.

MENCHIK, CARLOS ROBERTO. / Gestão Estratégica de Transportes e Distribuição. / Carlos Roberto Menchik. — Curitiba : IESDE Brasil S.A. , 2010. 352 p.

MIRANDA, ANDERSON LOUZADA ; SOLIANI, RODRIGO DUARTE ; FREITAS, CÉSAR GOMES DE . Roteirização de Veículos: Uma Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante no Setor de Alimentos. In: ENEGEP 2021 Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2021, Online, 2021.

MORO, M. F. ; WEISE, A. D. ; REIS, C. C. C. ; FLORES, S. A. . Técnicas de pesquisa operacional aplicadas na otimização de rotas de uma rede de lojas de materiais de construção. Produção em Foco , v. 8, p. 539, 2018.

NOVAES, Antônio Galvão. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

RAMOS, M. DE P.; GONÇALVES, I. A.; NERO, M. A.; BORTONE, T. P.; MARTINI, R. J.; TEMBA, P. DA C. Otimização de rotas de transporte em estradas florestais: um estudo de caso em Paraopeba/MG. Revista de Gestão e Secretariado –GeSec, V. 15, N. 4, P.01-17, 2024.

SILVA, C. M. P. da; NEVES, C. E. V.; OLIVEIRA, D. J. de; NETO, E. F.; MENDES, O. L. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O MÉTODO SIMPLEX E O MÉTODO EVOLUTIONARY PARA A OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE DISTRIBUIDORES NA CIDADE DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 265–275, 2018. DOI: 10.31510/infra.v15i2.489. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/489>. Acesso em: 2 jul. 2024.