EVENTO ON-LINE
ConBRepro
XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias

Modelos de Roteamento Aplicados à Organização Logística de Serviços de Saúde: Uma Revisão de Escopo

Lucas Goulart Suares
Programa de pós graduação em Engenharia de Produção - UEM
Danilo Hisano Barbosa
Programa de pós graduação em Engenharia de Produção - UEM
Gislaine Camila Lapasini Leal
Programa de pós graduação em Engenharia de Produção - UEM
Maria Eduarda Pascoaloto da Silva
Programa de pós graduação em Enfermagem - UEM

Resumo: A logística em saúde envolve decisões relacionadas ao deslocamento de profissionais, ao transporte de insumos e à organização de recursos em diferentes pontos de atendimento, sendo essencial para a eficiência dos serviços. Nesse contexto, modelos de roteamento têm sido utilizados como ferramentas de apoio à decisão em problemas operacionais complexos. Entretanto, a literatura sobre sua aplicação nos serviços de saúde encontra-se dispersa entre diferentes contextos, formulações matemáticas e métodos de solução, dificultando uma compreensão integrada sobre o tema. Este artigo tem como objetivo mapear e caracterizar a produção científica sobre a aplicação de modelos de roteamento na organização logística de serviços de saúde, identificando os principais contextos de aplicação, modelos matemáticos empregados e métodos de otimização utilizados. Trata-se de uma revisão de escopo conduzida conforme as recomendações do Joanna Briggs Institute e reportada de acordo com o PRISMA-ScR. As buscas foram realizadas nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect e IEEE Xplore. Ao final do processo de seleção, 177 estudos compuseram a amostra final. Os resultados evidenciaram crescimento das publicações a partir da década de 2010, com predominância do *Vehicle Routing Problem* e de suas variações. Os principais contextos de aplicação foram atendimento domiciliar, serviços de ambulância e emergência, resíduos de serviços de saúde, distribuição de medicamentos e suprimentos, vacinação e imunização, sangue e hemoterapia, logística hospitalar, apoio diagnóstico, transporte de pacientes e serviços gerais de saúde. As abordagens metodológicas mais frequentes envolveram heurísticas, metaheurísticas, programação matemática e métodos híbridos.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional; Modelos de roteamento; Logística em saúde; Serviços de saúde; Revisão de escopo.

Routing Models Applied to the Logistical Organization of Healthcare Services: A Scoping Review

Abstract: Healthcare logistics involves decisions related to the movement of professionals, transport of supplies, and organization of resources across different points of care, being essential to service efficiency. In this context, routing models have been used as decision-support tools for complex operational problems. However, the literature on their application in healthcare services is dispersed across different contexts, mathematical formulations, and solution methods, which hinders an

integrated understanding of the topic. This article aims to map and characterize the scientific literature on the application of routing models in the logistical organization of healthcare services, identifying the main application contexts, mathematical models, and optimization methods used. This is a scoping review conducted according to the Joanna Briggs Institute recommendations and reported following the PRISMA-ScR guidelines. Searches were performed in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and IEEE Xplore. At the end of the selection process, 177 studies composed the final sample. The results showed an increase in publications from the 2010s onward, with a predominance of the *Vehicle Routing Problem* and its variants. The main application contexts were home healthcare, ambulance and emergency services, healthcare waste, distribution of medicines and medical supplies, vaccination and immunization, blood and hemotherapy, hospital logistics, diagnostic support, patient transportation, and general healthcare services. The most frequent methodological approaches involved heuristics, metaheuristics, mathematical programming, and hybrid methods.

Keywords: Operations Research; Routing models; Healthcare logistics; Healthcare services; Scoping review.

1. Introdução

Os sistemas de saúde contemporâneos enfrentam desafios crescentes relacionados à organização e à eficiência da prestação de serviços, especialmente diante da ampliação da demanda, da limitação de recursos e da necessidade de apoiar decisões complexas de planejamento (World Health Organization, 2021; Hulshof et al., 2012). Nesse contexto, a logística em saúde assume papel estratégico, ao envolver o deslocamento de profissionais, o transporte de insumos, a distribuição de recursos e a coordenação de atividades em diferentes pontos de atendimento.

Para apoiar esses processos de tomada de decisão, a Pesquisa Operacional tem se destacado como uma importante aliada, utilizando modelos matemáticos de otimização para mitigar gargalos complexos (Hillier; Lieberman, 2013). Na vanguarda dessas ferramentas operacionais, os problemas clássicos de roteamento passaram por uma evolução conceitual incremental. Essa linha do tempo inicia-se com o clássico Traveling Salesman Problem (TSP), focado na otimização da rota de um único agente (Dantzig et al., 1954). Visando cenários mais robustos, o modelo expandiu-se para o Multiple Traveling Salesman Problem (m-TSP), que passou a coordenar múltiplos agentes simultâneos a partir de um depósito central (Bektas, 2006). Posteriormente, o *Vehicle Routing Problem* (VRP), formalmente introduzido por Dantzig e Ramser (1959), ampliou essa formulação ao incorporar restrições operacionais, como capacidade de carga, frota e múltiplos pontos de atendimento.

Em ambientes logísticos complexos, essa família de modelos busca determinar rotas eficientes, reduzir distâncias e tempos de deslocamento e otimizar o uso de recursos disponíveis (Golden et al., 2008; Toth; Vigo, 2002). Nos serviços de saúde, tais modelos têm sido aplicados a diferentes atividades que envolvem deslocamento de equipes, transporte de pacientes, distribuição de medicamentos e suprimentos, roteamento de ambulâncias, atenção domiciliar, apoio diagnóstico e outras operações essenciais à continuidade do cuidado e ao funcionamento dos serviços (Kirk et al., 2022).

Apesar do crescimento das aplicações, a produção científica sobre modelos de roteamento em saúde permanece dispersa entre diferentes contextos assistenciais, formulações matemáticas e métodos de solução, incluindo abordagens exatas, heurísticas, metaheurísticas e híbridas. Essa heterogeneidade dificulta uma compreensão integrada sobre os modelos utilizados, suas principais aplicações e sua adequação a diferentes problemas logísticos em saúde. Assim, torna-se relevante mapear sistematicamente essa produção, de modo a consolidar o conhecimento existente e identificar tendências, lacunas e oportunidades de pesquisa.

Diante disso, esta revisão de escopo tem como objetivo mapear e caracterizar a produção científica sobre a aplicação de modelos de roteamento baseados no Problema do Caixeiro Viajante e suas variantes na organização logística de serviços de saúde. Busca-se identificar os principais contextos de aplicação, as formulações matemáticas empregadas e os métodos de otimização mais prevalentes na literatura.

2. Metodologia

Trata-se de uma revisão de escopo conduzida de acordo com as recomendações metodológicas do Joanna Briggs Institute (JBI) para revisões de escopo e reportada conforme as diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews* (PRISMA-ScR) (Peters et al., 2020; Tricco et al., 2018). Esse tipo de revisão tem como objetivo mapear os principais conceitos, tipos de evidência e lacunas de conhecimento existentes em determinado campo de investigação. A condução da revisão seguiu as etapas propostas pelo JBI, que incluem: (1) definição da questão de pesquisa, (2) identificação dos estudos relevantes, (3) seleção dos estudos, (4) extração dos dados, (5) síntese e (6) apresentação dos resultados.

A pergunta da revisão foi elaborada com base na estratégia PCC (*Population, Concept, Context*), recomendada pelo Joanna Briggs Institute para revisões de escopo. No presente estudo, a população refere-se aos serviços de saúde; o conceito corresponde à aplicação de modelos de roteamento baseados no Problema do Caixeiro Viajante, incluindo o *Traveling Salesman Problem* (TSP) e variantes e o *Vehicle Routing Problem* (VRP), e suas variantes; e o contexto diz respeito à roteirização e organização logística no âmbito dos serviços de saúde. A partir dessa estratégia, definiu-se a seguinte questão norteadora: Como os modelos de roteamento baseados no Problema do Caixeiro Viajante têm sido aplicados na organização logística de serviços de saúde?

A busca dos estudos foi realizada em bases de dados eletrônicas amplamente utilizadas nas áreas da saúde e das ciências computacionais, a saber: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, IEEE Xplore. Essas bases foram selecionadas por abrangerem publicações relevantes tanto na área da saúde quanto em áreas relacionadas à pesquisa operacional, ciência da computação e logística.

Para estruturar a estratégia de busca, os termos foram organizados em três blocos conceituais: modelo de roteamento, público/contexto de saúde e aplicação logística. Os termos pertencentes a uma mesma categoria foram combinados pelo operador OR, enquanto os diferentes blocos foram relacionados pelo operador AND, assim, demostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Organização conceitual da estratégia de busca

Categoria	Finalidade	Termo-base
Modelo	Identificar os modelos de roteamento de interesse	traveling salesman problem; travelling salesman problem; multiple traveling salesman problem; mTSP; vehicle routing problem; VRP
Público/contexto	Delimitar o contexto dos serviços de saúde	health; healthcare; health care; health services; hospital; home care; home healthcare; home health care
Aplicação	Representar aplicações logísticas em serviços de saúde	vaccination; immunization; medical logistics; healthcare logistics; patient transportation

Fonte: Autores

Para esse estudo, foram incluídos estudos de pesquisa original, bem como metodológicos ou de modelagem matemática aplicados ao contexto dos serviços de saúde, além de revisões da literatura que discutissem ou analisassem a utilização desses modelos na área da saúde. Não foram incluídas fontes de literatura cinzenta. No mais, materiais como editoriais, cartas ao editor, comentários e resumos de eventos científicos foram excluídos da análise. Não foram estabelecidas restrições quanto ao idioma ou ao ano inicial de publicação, englobando toda a literatura disponível nas bases de dados até o limite temporal de abril de 2026, data em que as estratégias de busca foram finalizadas.

Após a realização das buscas nas bases de dados selecionadas, todos os registros identificados foram exportados para o gerenciador de referências Mendeley, no qual foi realizada a organização das referências e a remoção de registros duplicados. Em seguida, os estudos foram exportados para a plataforma Rayyan, utilizada para apoiar o processo de triagem dos artigos e permitir a avaliação independente dos revisores.

A seleção dos estudos foi realizada em duas etapas. Inicialmente, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos com o objetivo de identificar estudos potencialmente elegíveis, de acordo com os critérios de inclusão estabelecidos. Posteriormente, os artigos selecionados foram avaliados na íntegra para confirmação da elegibilidade.

Esse processo foi conduzido por dois revisores de forma independente e em duplo-cego, com o auxílio da plataforma Rayyan. As divergências identificadas durante o processo de triagem foram discutidas entre os revisores até o estabelecimento de consenso. O processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos será apresentado por meio de um fluxograma conforme as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews* (PRISMA-ScR), utilizado para orientar o relato de revisões de escopo.

Os dados extraídos foram organizados em tabelas e figuras, visando à síntese e caracterização dos estudos incluídos. As análises descritivas e a elaboração de parte das representações gráficas foram realizadas no software R, enquanto outras figuras foram produzidas no Microsoft Excel®.

Foram utilizados gráficos descritivos, como gráficos de colunas, para representar a distribuição temporal das publicações e a frequência das abordagens metodológicas. Adicionalmente, empregou-se um gráfico do tipo UpSet para análise das combinações entre as abordagens metodológicas, permitindo a visualização das interseções entre diferentes estratégias utilizadas nos estudos.

3. Resultados

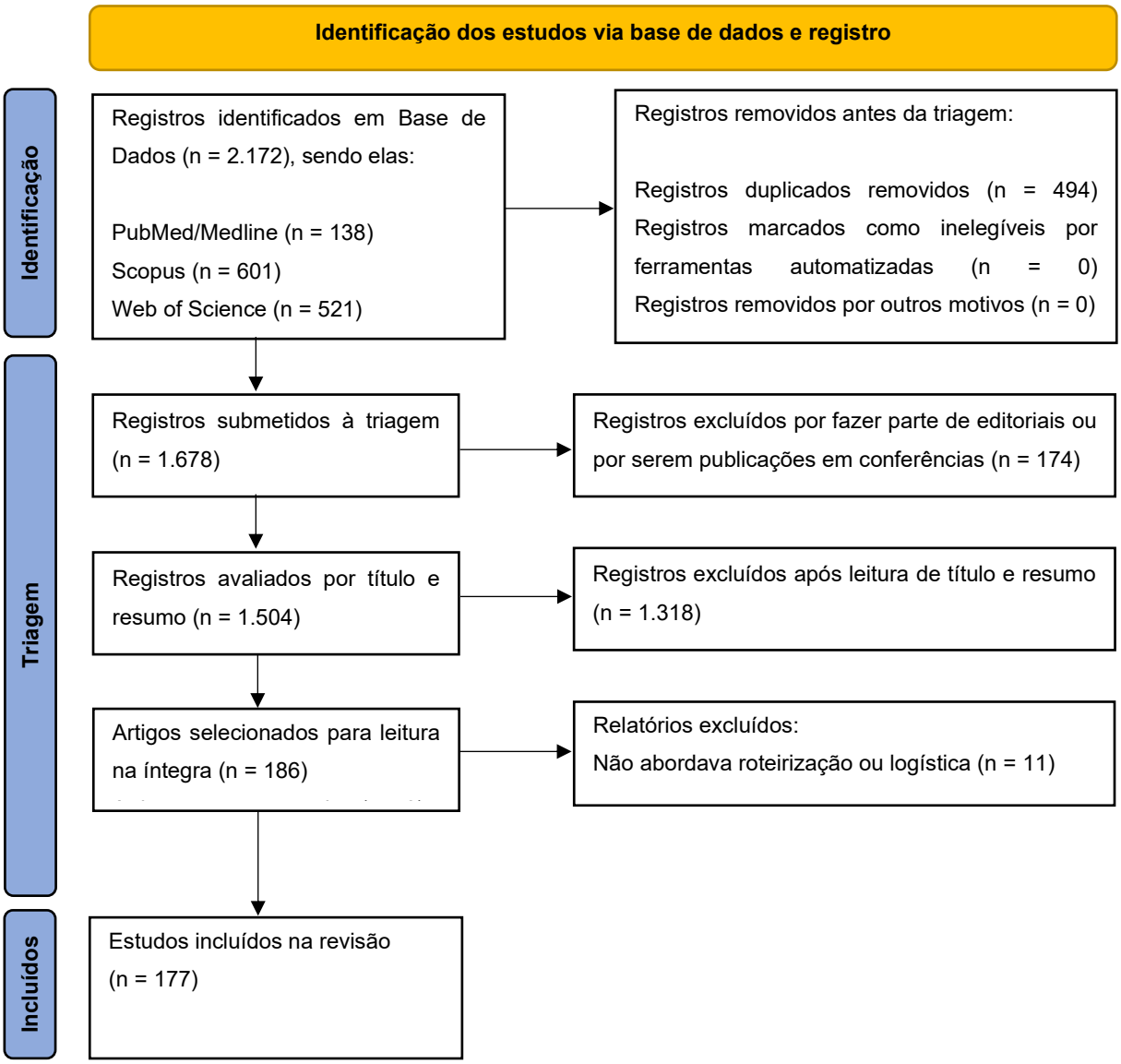
A busca nas bases de dados resultou na identificação de 2.172 registros (PubMed/MEDLINE = 138; Scopus = 601; Web of Science = 521; ScienceDirect = 557; IEEE Xplore = 355). Após a remoção de 494 duplicatas, permaneceram 1.678 estudos para análise. Na etapa inicial de triagem, 174 registros foram excluídos por corresponderem a tipos de publicação não elegíveis, como editoriais e trabalhos publicados em anais de congressos. Dessa forma, 1.504 estudos seguiram para a etapa de triagem por título e resumo.

A leitura dos títulos e resumos resultou na exclusão de 1.318 estudos por não atenderem aos critérios de elegibilidade estabelecidos. Assim, 186 artigos foram selecionados para leitura do texto completo. Após a avaliação na íntegra, 11 estudos foram excluídos, principalmente por não apresentarem aplicação de modelos de roteamento na área da

saúde ou por não abordarem contextos relacionados à organização logística de serviços de saúde. Ao final do processo, 177 estudos foram incluídos na revisão de escopo.

O processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos está apresentado na Figura 1, conforme as recomendações do PRISMA-ScR.

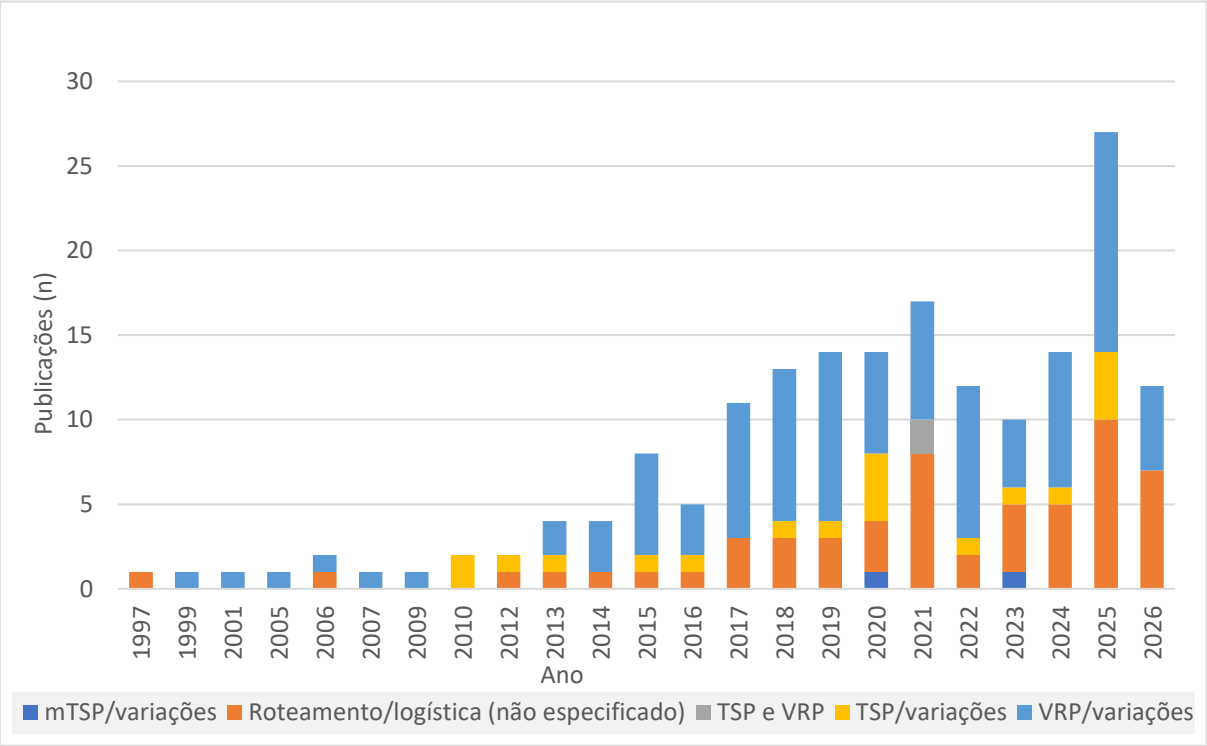
Figura 1 - Processo de identificação e inclusão dos estudos - *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) diagram flow*



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Os 177 estudos incluídos nesta revisão foram publicados entre 1997 e 2026. Ao analisar a distribuição temporal dessas publicações, observa-se uma clara predominância do *Vehicle Routing Problem* (VRP) e de suas variações, consolidando-se como a principal abordagem metodológica empregada na literatura ao longo das últimas décadas. O panorama completo desse crescimento cronológico, segmentado segundo o modelo de roteamento utilizado, está apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Distribuição temporal das publicações sobre aplicação de modelos de roteamento em serviços de saúde (1997–2026)

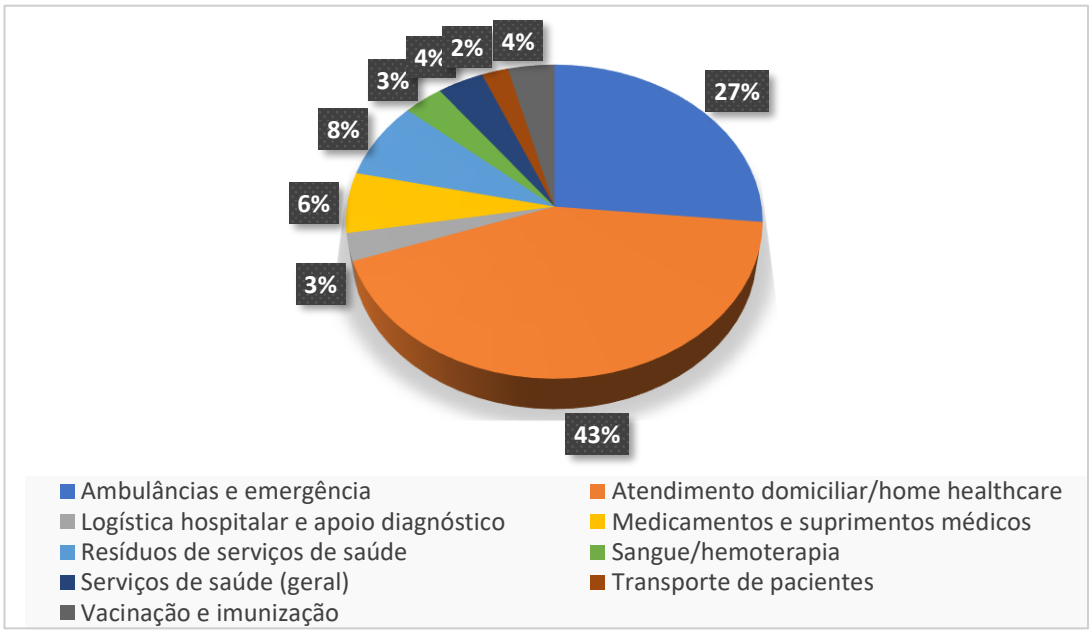


Fonte: Autores

Observa-se baixa frequência de publicações até o final da década de 2000, seguida por aumento mais evidente a partir da década de 2010. O maior número de estudos foi identificado em 2025 (n = 27), indicando intensificação recente da produção científica sobre modelos de roteamento aplicados aos serviços de saúde.

Os artigos analisados permitiram identificar diferentes cenários práticos de roteamento na área da saúde, apresentados detalhadamente na Figura 3.

Figura 3 - Distribuição dos estudos segundo os contextos de aplicação dos modelos de roteamento na área da saúde

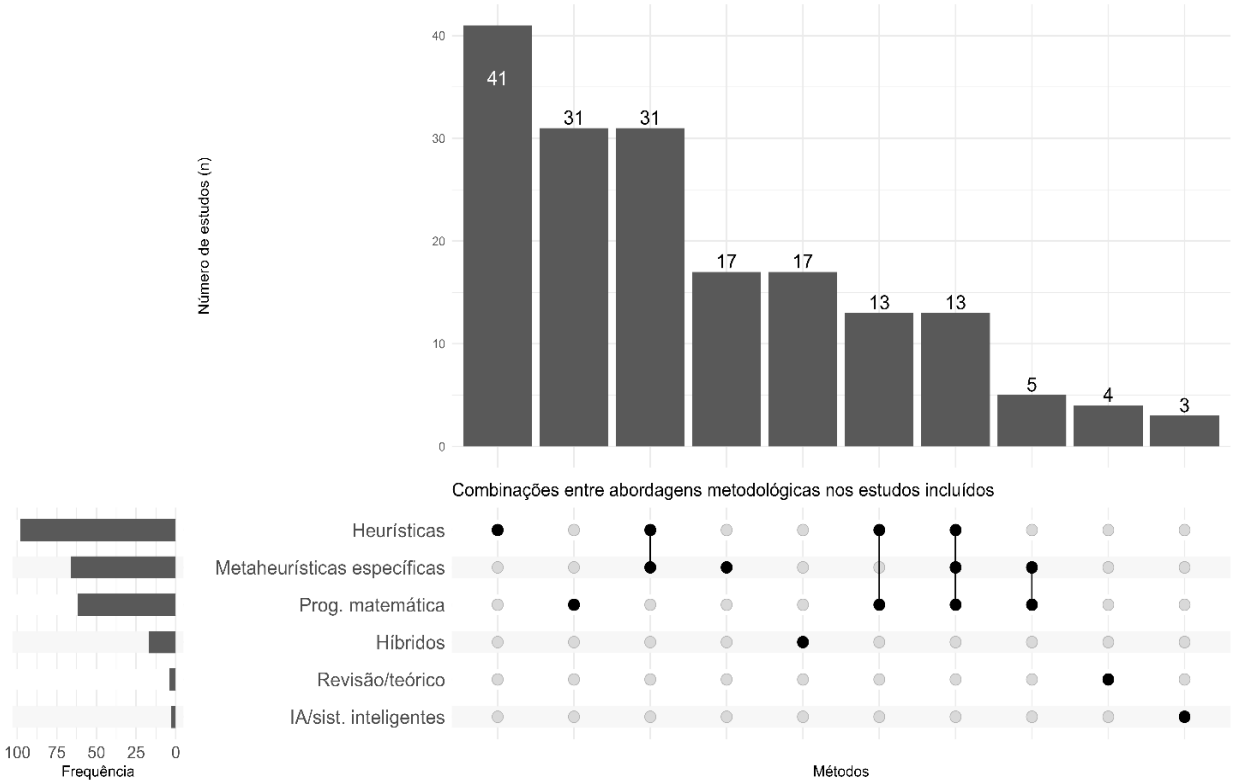


Fonte: Autores

Nota-se a clara predominância de intervenções voltadas ao atendimento domiciliar (n = 76; 43%), seguidas de perto pelos serviços de atendimento pré-hospitalar e emergência (n = 47; 27%). Em menor escala, a literatura também abrangeu a gestão de resíduos de serviços de saúde (n = 14; 8%), a distribuição de medicamentos e suprimentos médicos (n = 11; 6%), serviços gerais de saúde (n = 7; 4%) e campanhas de vacinação (n = 7; 4%). Por fim, registraram-se aplicações residuais na logística de sangue e hemoterapia (n = 6; 3%), apoio diagnóstico hospitalar (n = 5; 3%) e transporte eletivo de pacientes (n = 4; 2%).

As abordagens metodológicas identificadas nos estudos incluídos foram empregadas tanto de forma isolada quanto em combinação com outras estratégias. As combinações entre as diferentes abordagens estão apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Combinações entre abordagens metodológicas utilizadas nos estudos incluídos



Fonte: Autores

Observou-se predominância do uso isolado de heurísticas (23,2%; n = 41). Entre as combinações, destacaram-se a associação entre metaheurísticas específicas e programação matemática (17,5%; n = 31) e a combinação entre heurísticas e metaheurísticas específicas (17,5%; n = 31). Outras combinações relevantes envolveram programação matemática e heurísticas (9,6%; n = 17) e abordagens híbridas (9,6%; n = 17).

4. Discussão

O Observa-se uma baixa frequência de publicações até o final da década de 2000, seguida por aumento expressivo a partir da década de 2010. Esse crescimento parece acompanhar a consolidação da Pesquisa Operacional como campo de apoio à tomada de decisão em saúde, bem como a ampliação do uso de dados georreferenciados, logística de insumos, diagnóstico, saúde pública, organização de serviços, sistemas de informação, resposta emergencial e ferramentas computacionais de otimização no planejamento de serviços (Beliën et al., 2025).

A predominância do *Vehicle Routing Problem* (VRP) e de suas variações, observada nesta revisão, reforça sua relevância como principal família de modelos matemáticos aplicada à organização logística em saúde. Sua adaptação ao setor saúde permite representar cenários operacionais complexos, que frequentemente envolvem múltiplos destinos, janelas de tempo, restrições de capacidade, prioridades assistenciais, variabilidade da demanda e necessidade de coordenação entre equipes, veículos e recursos (Cissé et al., 2017; Fikar; Hirsch, 2017).

No que se refere às abordagens metodológicas, observou-se predominância do uso de heurísticas, metaheurísticas e programação matemática, frequentemente empregadas de forma combinada. Esse padrão indica uma tendência à adoção de estratégias híbridas, uma vez que problemas de roteamento são, em sua maioria, classificados como NP-difíceis, tornando inviável a obtenção de soluções ótimas em tempo computacional razoável para instâncias reais de maior escala (Gendreau; Potvin, 2010).

Além dos contextos mais frequentes, os modelos de roteamento foram identificados em diferentes áreas da logística em saúde, incluindo resíduos de serviços de saúde, distribuição de medicamentos e suprimentos, sangue e hemoterapia, logística hospitalar, apoio diagnóstico, transporte de pacientes e serviços de saúde em geral. Essa diversidade demonstra que as técnicas de roteamento ultrapassam o cuidado direto ao paciente e alcançam atividades de suporte essenciais ao funcionamento dos serviços. A Figura 5 apresenta uma síntese visual dos principais contextos de aplicação dos modelos de roteamento em serviços de saúde identificados nesta revisão.

Figura 5 – Síntese visual dos principais contextos de aplicação dos modelos de roteamento em serviços de saúde identificados na revisão de escopo



Fonte: Autores

Adicionalmente, a heterogeneidade metodológica dos estudos incluídos dificultou a padronização das análises e a comparação direta entre os resultados. Os artigos diferem quanto aos contextos de aplicação, tipos de dados utilizados, formulações matemáticas, funções objetivo, restrições consideradas, métodos de solução e métricas de desempenho. Ainda assim, o número expressivo de estudos incluídos contribui para a robustez desta revisão, ao possibilitar uma análise abrangente das abordagens metodológicas e dos principais contextos de aplicação dos modelos de roteamento em saúde.

Nesse sentido, os achados reforçam a importância da integração entre modelos teóricos e aplicações práticas, especialmente por meio do uso de dados reais, informações georreferenciadas, indicadores operacionais e validação em condições concretas de serviço. Para a Engenharia de Produção e áreas afins, os resultados evidenciam o potencial dos modelos de roteamento como ferramentas de apoio à gestão de operações, ao planejamento logístico e à melhoria do desempenho dos serviços de saúde. O fortalecimento dessas abordagens pode contribuir para a redução de deslocamentos, melhor utilização de recursos, aumento da eficiência operacional e qualificação da tomada de decisão em saúde.

5. Conclusões

Esta revisão de escopo permitiu mapear e caracterizar a produção científica sobre a aplicação de modelos de roteamento na organização logística de serviços de saúde. Os achados evidenciaram a ampla utilização do *Vehicle Routing Problem* e de suas variações, bem como o emprego de heurísticas, metaheurísticas, programação matemática e abordagens híbridas para a resolução de problemas logísticos complexos.

Os modelos de roteamento foram aplicados em diferentes contextos da saúde, com destaque para o atendimento domiciliar e os serviços de ambulância e emergência, além de aplicações em resíduos de serviços de saúde, distribuição de medicamentos e suprimentos, sangue e hemoterapia, logística hospitalar, apoio diagnóstico, transporte de pacientes e serviços gerais de saúde. Esses resultados demonstram o potencial das técnicas de otimização para apoiar o planejamento de rotas, a redução de deslocamentos, a alocação eficiente de recursos e a tomada de decisão na gestão dos serviços de saúde.

Como contribuição, esta revisão organiza evidências dispersas sobre modelos de roteamento aplicados à saúde e oferece uma síntese dos principais contextos de aplicação, modelos matemáticos e estratégias de solução utilizadas. Dessa forma, o estudo pode subsidiar pesquisadores e gestores interessados no desenvolvimento de soluções voltadas à melhoria da eficiência logística e operacional em serviços de saúde.

Entre as limitações, destaca-se que, por se tratar de uma revisão de escopo, não foi realizada avaliação crítica da qualidade metodológica dos estudos incluídos. Além disso, a heterogeneidade dos artigos dificultou comparações diretas entre modelos, métodos e resultados. Pesquisas futuras poderão aprofundar a análise da implementação desses modelos em condições reais de serviço, incorporando dados georreferenciados, simulação, inteligência artificial e indicadores de desempenho operacional.

Referências

A BEKTAS, T. The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. **Omega**, v. 34, n. 3, p. 209-219, 2006. DOI: /10.1016/j.omega.2004.10.004.

BELIËN, J. et al. Fifty years of operational research applied to healthcare. **European Journal of Operational Research**, v. 326, n. 2, p. 189-206, 2025. DOI: 10.1016/j.ejor.2024.12.040.

CISSÉ, M. et al. OR problems related to home health care: a review of relevant routing and scheduling problems. **Operations Research for Health Care**, v. 13-14, p. 1-22, 2017. DOI: 10.1016/j.orhc.2017.02.001.

DANTZIG, G. B.; FULKERSON, R.; JOHNSON, S. M. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. **Journal of the Operations Research Society of America**, v. 2, n. 4, p. 393-410, 1954. DOI: 10.1287/opre.2.4.393.

DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. The truck dispatching problem. **Management Science**, v. 6, n. 1, p. 80-91, 1959. DOI: 10.1287/mnsc.6.1.80.

FIKAR, C.; HIRSCH, P. Home health care routing and scheduling: a review. **Computers & Operations Research**, v. 77, p. 86-95, 2017. DOI: 10.1016/j.cor.2016.07.019.

GENDREAU, M.; POTVIN, J. Y. (ed.). **Handbook of metaheuristics**. 2. ed. New York: Springer, 2010. DOI: 10.1007/978-1-4419-1665-5.

GOLDEN, B. L.; RAGHAVAN, S.; WASIL, E. A. (ed.). **The vehicle routing problem: latest advances and new challenges**. New York: Springer, 2008. DOI: 10.1007/978-0-387-77778-8.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

HULSHOF, P. J. H. et al. Taxonomic classification of planning decisions in health care: a structured review of the state of the art in OR/MS. **Health Systems**, v. 1, n. 2, p. 129-175, 2012. DOI: 10.1057/hs.2012.18.

KIRK, T. F. et al. VaxiMap: route optimisation for housebound vaccination. **NPJ Digital Medicine**, v. 5, n. 1, artigo 182, 2022. DOI: 10.1038/s41746-022-00726-2.

PETERS, M. D. J. et al. Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. **JBI Evidence Synthesis**, v. 18, n. 10, p. 2119-2126, 2020. DOI: 10.11124/JBIES-20-00167.

TOTH, P.; VIGO, D. (ed.). **The vehicle routing problem**. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.

TRICCO, A. C. et al. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. **Annals of Internal Medicine**, v. 169, n. 7, p. 467-473, 2018. DOI: 10.7326/M18-0850.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global expenditure on health: public spending on the rise?** Geneva: World Health Organization, 2021.