

**Proposta de um modelo conceitual de *cross-docking* para a gestão
estratégica de cadeias de suprimentos**

Murilo Antunes dos Santos Siqueira
Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)
e-mail: murilo.2198780@discente.uemg.br

Paulo Henrique Amorim Santos
Universidade Federal do Paraná (UFPR)
e-mail: phas@ufpr.br

* RECEBIDO em 01/03/2026. ACEITO em 31/07/2026.

Resumo

O *cross-docking* é uma estratégia de gestão de estoque muito usado nas cadeias de suprimento atuais. Ela dinamiza o fluxo de estoque por eliminar os pontos de armazenamento intermediários, unindo diversas remessas destinadas para o mesmo local, otimizando recursos financeiros e logísticos. Percebe-se na literatura escassez de modelos para uma gestão da cadeia de suprimentos para estratégias de *cross-docking*. O objetivo deste trabalho é propor um modelo conceitual de apoio à decisão para a adoção do *cross-docking* em cadeias de suprimentos com demanda variável. Para isso, o método de pesquisa utilizado combina técnicas de mapeamento científico, revisão sistemática da literatura com análise de conteúdo e modelo para auxiliar na tomada de decisões. Os principais achados indicam que a literatura sobre *cross-docking* tem se concentrado principalmente em problemas operacionais específicos, como roteirização, programação de veículos, alocação de docas, consolidação de cargas e redução de custos logísticos. Entretanto, observou-se menor presença de modelos conceituais voltados à tomada de decisão gerencial em cadeias de suprimentos com demanda variável. Como contribuição, este estudo propõe um modelo conceitual que organiza etapas, variáveis e pontos de decisão para apoiar a adoção do *cross-docking* nesse contexto. Como limitação, destaca-se que o modelo ainda possui caráter teórico, não tendo sido validado por meio de aplicação prática, estudo de caso ou simulação. Assim, recomenda-se que pesquisas futuras realizem a validação empírica do modelo em diferentes contextos organizacionais, incorporando indicadores como custo logístico, lead time, ocupação dos veículos, nível de serviço e desempenho ambiental.

Palavras-chave: Gestão da cadeia de suprimentos; Cross-docking; Logística; Mapeamento científico.

Abstract

Cross-docking is an inventory management strategy widely used in contemporary supply chains. It streamlines inventory flow by eliminating intermediate storage points, consolidating multiple shipments destined for the same location, and optimizing financial and logistical resources. The literature indicates a scarcity of models that support supply chain management in cross-docking strategies. Therefore, the objective of this study is to propose a conceptual decision-support model for the adoption of cross-docking in supply chains with variable demand. To achieve this objective, the research method combines scientific mapping techniques, a systematic literature review with content analysis, and the development of a model to support decision-making. The main findings indicate that the literature on cross-docking has focused primarily on specific operational problems, such as routing, vehicle scheduling, dock allocation, load consolidation, and logistics cost reduction. However, fewer conceptual models aimed at managerial decision-making in supply chains with variable demand were identified. As a contribution, this study proposes a conceptual model that organizes stages, variables, and decision points to support the adoption of cross-docking in this context. As a limitation, the model remains theoretical and has not yet been validated through practical application, case study, or simulation. Therefore, future research should empirically validate the model in different organizational contexts, incorporating indicators such as logistics cost, lead time, vehicle occupancy, service level, and environmental performance.

Keywords: Supply chain management; Cross-docking; Logistics; Scientific mapping.

1. Introdução.

As cadeias de suprimentos são nexos que acompanham os primórdios da fabricação, produção e prestação de serviços (AGARWAL et al., 2022). No entanto, com a industrialização e a globalização, a gestão da cadeia de suprimentos (GCS) tornou-se uma prática mais refinada, permitindo que as empresas realizassem um trabalho mais eficiente de produção e entrega de mercadorias e serviços (AGARWAL et al., 2022).

Atualmente, as partes interessadas da cadeia de suprimentos têm de enfrentar muitos desafios para garantir uma distribuição eficiente de produtos (DULEBENETS, 2019). A GCS consiste em gerenciar e otimizar todos os aspectos do processo da cadeia de bens e serviços (TAJ et al., 2023).

Alguns dos principais problemas dos sistemas atuais do GCS incluem segurança, transparência transacional, rastreabilidade, envolvimento dos stakeholders, falsificação de produtos, atrasos adicionais, fraudes e instabilidades (AGARWAL et al., 2022). Como resultado, cadeias de suprimentos tradicionais podem apresentar limitações para atender, simultaneamente, às demandas por baixo custo, alta qualidade, agilidade, rastreabilidade e confiabilidade, especialmente em ambientes marcados por maior volatilidade, incerteza operacional e pressão por eficiência logística (YADAV; SINGH, 2020).

Em ambientes de negócios cada vez mais voláteis, os gestores da cadeia de suprimento devem determinar como entregar serviços e/ou produtos aos seus clientes num contexto que envolve múltiplos parceiros que enfrentam a pressão da globalização e a incerteza ambiental (CHIANG; KOU; KOO, 2021).

O *cross-docking* é considerado um método eficiente para controlar o fluxo de estoques, sendo relevante para a Gestão da Cadeia de Suprimentos por contribuir para a redução de armazenagens intermediárias, a consolidação de cargas e a melhoria do desempenho logístico (LIAO; LIN; SHIN, 2010). A estratégia pode ser definida por receber produto de um fornecedor ou fabricante para vários destinos e consolidando este produto com outros produtos dos fornecedores para destinos comuns de entrega (VAN BELLE; VALCKENAERS; CATTRYSSE, 2012).

O principal objetivo do *cross-docking* em quase todas as empresas é coletar diversos produtos, consolidá-los em uma coleção de produtos mistos com o mesmo destino, e os entrega para os clientes, que podem ser fabricantes, montadoras e usuários finais, conforme pedidos (HASANI GOODARZI et al., 2020). O *cross-docking* serve para facilitar o envio dos produtos para os clientes e reduz os custos da cadeia de suprimentos (RAFIE-MAJD; PASANDIDEH, 2019). No *cross-docking*, a incerteza é principalmente tratada com otimização robusta e abordagem difusa da estratégia (HASANI GOODARZI et al., 2020).

A estratégia tem algumas vantagens importantes sobre o armazenamento tradicional por reduzir custos de estoque, espaço de armazenamento e custos de manuseio (BENRQYA, 2019). Também acelera o fluxo de caixa e minimiza os tempos de ciclo devido à eliminação de um ponto de armazenamento na cadeia de suprimentos (BENRQYA, 2019). Devido aos seus benefícios notáveis, o *cross-docking* tem sido amplamente adotado na prática pela indústria e pelas empresas varejistas (WEN et al., 2009).

Apesar dessas vantagens, a implementação do *cross-docking* exige elevado grau de coordenação entre fornecedores, transportadores, centros de distribuição e clientes. A eficiência da estratégia depende da sincronização entre recebimento, triagem, consolidação e expedição, bem como da capacidade de lidar com variações na demanda, nos prazos de entrega e nos volumes movimentados. Embora a literatura apresente contribuições relevantes sobre *cross-docking*, grande parte dos estudos concentra-se em problemas operacionais específicos, como programação de veículos, alocação de docas, roteirização, consolidação de cargas e redução de custos logísticos.

Estudos recentes reforçam que o *cross-docking* permanece associado a problemas relevantes de roteirização, programação de veículos, consolidação de cargas e tomada de decisão em cadeias de suprimentos. Asgharyar, Farmand e Shetab-Boushehri (2025), por exemplo, propõem um modelo matemático integrado para o problema de roteirização periódica de veículos com *cross-docking*, considerando decisões de programação e roteirização de veículos, quantidades carregadas e descarregadas no terminal e combinações de demandas periódicas de varejistas. Essa abordagem evidencia que a adoção do *cross-docking* depende da integração entre decisões de transporte, fluxo de produtos e atendimento à demanda, o que reforça a necessidade de modelos de apoio à decisão em contextos operacionais variáveis.

A relação entre *cross-docking*, flexibilidade operacional e sustentabilidade também aparece em estudos recentes. Kurt e Gumus (2025) analisam o planejamento dinâmico de fretes com *cross-docking* híbrido, considerando imposto sobre carbono e tempo máximo de armazenagem. Os autores mostram que permitir armazenamento temporário limitado em instalações de *cross-docking* pode aumentar a flexibilidade da cadeia sem necessariamente elevar os custos sistêmicos, além de influenciar escolhas de veículos e emissões associadas ao transporte. Essa discussão é especialmente relevante para o presente estudo, pois aproxima o *cross-docking* de decisões relacionadas à demanda variável, consolidação de cargas e desempenho ambiental.

Embora a literatura apresente modelos matemáticos, operacionais, baseados em simulação e orientados à roteirização, essas abordagens geralmente partem da decisão prévia de utilizar o *cross-docking* e buscam otimizar componentes específicos de sua operação, como rotas, programação de veículos, atribuição de docas, sequenciamento, consolidação de cargas ou utilização de recursos. Permanece menos explorada a etapa gerencial anterior à otimização: a avaliação estruturada das condições sob as quais a estratégia deve ser adotada, mantida, combinada com armazenamento temporário ou substituída por uma alternativa logística. Essa lacuna é particularmente relevante em cadeias de suprimentos com demanda variável, nas quais o volume disponível pode ser insuficiente para formar cargas completas e a espera pela consolidação pode comprometer prazos e níveis de serviço. Assim, diferentemente dos modelos voltados à otimização de uma operação já definida, o modelo conceitual proposto integra variáveis e regras de decisão para apoiar a avaliação preliminar da aplicabilidade do *cross-docking*.

Diante disso, este estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: *como estruturar um modelo conceitual de apoio à decisão para a adoção do cross-docking em cadeias de suprimentos com demanda variável?*

Assim, o objetivo deste trabalho é propor um modelo conceitual de apoio à decisão para a adoção do *cross-docking* em cadeias de suprimentos com demanda variável, a partir de evidências obtidas por mapeamento científico e revisão sistemática da literatura.

A fundamentação teórica e o método de pesquisa são apresentados nas seções seguintes. Em seguida, são discutidos os resultados obtidos por meio do mapeamento científico, da revisão sistemática da literatura e da proposição do modelo conceitual. Por fim, são apresentadas as conclusões, limitações e sugestões para pesquisas futuras.

2. Fundamentação teórica.

2.1. Gestão da cadeia de suprimentos.

A cadeia de suprimentos é uma sequência de processos que envolvem todas as atividades de fabricação, comércio e distribuição de mercadorias (ZENG et al., 2021). Estas atividades preocupam-se em fornecer matéria-prima, produção, atacado, varejo e entrega de produtos para satisfazer as demandas dos usuários finais (ZENG et al., 2021). A GCS projeta e mantém as operações da cadeia de suprimentos para atender às necessidades dos clientes enquanto realiza o fluxo de informações, fluxo de capital e fluxo logístico em toda cadeia de suprimentos (ZENG et al., 2021).

Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP), a GCS, tem como principal função a integração de pedidos e demandas vindas de dentro e de fora das companhias, planejando e gerindo atividades logísticas, como o abastecimento, aquisição e conversão, em adição de coordenar e colaborar com todos os parceiros, desde fornecedores até consumidores (VITASEK, 2013).

A GCS é definida como uma forma estratégica de lidar com o fluxo total de matérias desde os fornecedores até consumidores finais, com o intuito de sincronizar os requisitos do cliente com o fluxo de materiais dos fornecedores, para enfim obter o equilíbrio entre baixos estoques, baixos custos e um alto nível de satisfação do cliente e alta confiabilidade entre os elos (SINGH; VERMA, 2018).

A GCS, além de ter como interesse a integração de fornecedores, fábricas, armazéns e lojas de modo que os produtos cheguem nas quantidades, locais e tempos precisos. A GCS também é um meio de conectar diferentes processos de um negócio para alcançar uma alta eficiência. Trabalhadores mais capacitados, grande quantidade de informação, formas de interpretar essas informações e uma comunicação transparente são algumas das soluções que um bom modelo de negócio pode fornecer a partir da GCS (ORENSTEIN; LADIK; RAINFORD, 2016).

A GCS interliga as atividades e processos administrativos, ou seja, as funções logísticas, como transporte, armazenagem e estoque. A coordenação interfuncional, envolve a colaboração e as relações de setores distintos dentro da empresa focal, enquanto a coordenação intraorganizacional refere-se à colaboração entre os demais elos da cadeia de suprimentos (BALLOU, 2006).

Segundo Ballou (2006), a GCS é considerada uma abordagem estratégica e integrada que abrange diversas atividades e processos, desde os elos iniciais, como fornecedores primários, até os elos finais, que seriam os consumidores. Assim, para obter uma melhor eficiência, são necessários esforços acadêmicos e investimentos financeiros, que irão trazer recompensas substanciais (BALLOU, 2006).

A GCS abrange quatro áreas principais: procura, oferta, produção e logística (ZENG et al., 2021). A GCS enfatiza a coordenação e colaboração com parceiros de canal que consistem em fornecedores, intermediários, prestadores de serviços terceirizados e usuários finais (ZENG et al., 2021).

A GCS é notavelmente dinâmica e complexa, uma vez que o sistema de distribuição em cadeia geralmente abrange uma rede expansiva de instalações com uma infinidade de funções em constante mudança (HENNINGER; MASHATAN, 2021). Cada uma das funções e suas funções subjacentes processos de trabalho, geram uma infinidade de registros necessários para o funcionamento das funções e processos e fornece evidências da operação adequada da cadeia de suprimentos (HENNINGER; MASHATAN, 2021).

Uma cadeia de suprimentos inclui todas as atividades relacionadas ao fluxo de mercadorias desde o estágio de matéria-prima até produção para os usuários finais bem como fluxos de informação (LIS; SUDOLSKA; TOMANEK, 2020). Essas funções incluem logística, pagamentos, remessa, transporte, financiamento, auditoria, alterações de rota, localização do item rastreamento, inspeção, procedimentos de *due diligence*, conformidade com órgãos reguladores e expectativas cada vez maiores do consumidor (HENNINGER; MASHATAN, 2021). O objetivo da GCS é fundir essas atividades para alcançar vantagens competitivas sustentáveis da organização (LIS; SUDOLSKA; TOMANEK, 2020).

Com a globalização, as cadeias de suprimento cresceram para serem redes superdimensionadas e complexas de instalações e processos com muitas partes em constante movimento e trocas de informações (HENNINGER; MASHATAN, 2021). A GCS precisa ser altamente aprimorado no mundo moderno porque as empresas estão se envolvendo com alto nível de concorrência (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017).

Para reduzir o custo total em uma cadeia de suprimento, é indispensável considerar todos os membros ao mesmo tempo e usar métodos mais eficazes para alcançar um custo de sistema mais baixo (LIAO; LIN; SHIN, 2010). Este esforço é considerado uma tarefa essencial da GCS e pode ser formalmente definido como um conjunto de abordagens utilizadas para integrar fornecedores de forma eficiente, fabricantes, armazéns e lojas (LIAO; LIN; SHIN, 2010).

A Gestão da Cadeia de Suprimentos deve ser compreendida como uma abordagem ampla de integração e coordenação dos fluxos de materiais, informações e recursos financeiros entre os diferentes elos da cadeia. A logística, por sua vez, constitui uma das funções centrais da GCS, pois envolve o planejamento, a implementação e o controle das atividades de transporte, armazenagem, movimentação e distribuição. Dessa forma, embora os conceitos estejam relacionados, eles não são equivalentes: a logística trata principalmente da eficiência dos fluxos físicos e informacionais, enquanto a GCS envolve também a coordenação estratégica entre fornecedores, fabricantes, operadores logísticos, distribuidores, varejistas e clientes finais.

O CSCMP também define logística como o processo de planejar, implementar e controlar processos para eficiência e eficácia dos transportes e estoque de bens, incluindo serviços, informações do ponto de origem ao ponto de consumo, com a intenção de atender os requerimentos (VITASEK, 2013). De forma semelhante, a Gestão Logística é definida como uma parte da GSC que planeja, implementa e controla o transporte de bens, serviços e informações do ponto de origem ao ponto de consumo, sendo uma parte específica da GSC que não lida diretamente com os processos nem coordena a comunicação com parceiros externos (VITASEK, 2013).

De acordo com Ballou (2006), até os anos 1950 a logística era predominantemente vista em termos militares, relacionada à aquisição, manutenção e transporte de instalações militares, materiais e pessoal. Já no âmbito empresarial, a logística era fragmentada, não tendo uma conexão entre os setores financeiro, de marketing e de produção, gerando conflitos de interesses de cada área. Suas atividades

associadas limitadas, principalmente, entre aquelas associadas ao fluxo de produtos para produção, deixando em déficit áreas administrativas, financeiro e marketing.

Durante os anos 1960 e 1970, diversos autores, como Drucker em 1962, Smykay em 1961 e Heskett em 1973, começaram a comparar custos, como custos de transporte com custos de estoque, e os benefícios para a empresa de obter os produtos esperados no local e tempo adequado. Contudo, ainda não era comum a visão de integração e balanceamento das atividades em uma abordagem coletiva, mas sim de fazê-las no âmbito individual (BALLOU, 2006).

Nessa perspectiva, decisões de transporte, estoque, localização e nível de serviço precisam ser analisadas de forma integrada, pois alterações em uma dessas dimensões afetam o desempenho total do sistema logístico. De forma complementar a logística integrada e a gestão da cadeia de suprimentos dependem da coordenação entre fluxos físicos, informações, relacionamento entre parceiros e desempenho operacional.

Estocagem é uma das várias esferas da logística (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017). Tendo em vista que a logística tem como objetivo principal atender as necessidades e desejos do cliente, uma gestão eficiente de estoque se faz indispensável para evitar gastos desnecessários e garantir que o cliente esteja satisfeito (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017).

2.2. Estratégias de gestão de estoque.

Segundo Ballou (2006), estoques são ajuntamentos de matérias-primas, componentes, materiais de processo e produtos acabados que surgem em numerosos pontos do canal de produção e logística das empresas. Tendo em vista os custos associados, fica claro a necessidade de estabelecer estratégias para a gestão do estoque de modo a diminuir ao máximo os custos gerados pela aquisição, da armazenagem ou da falta do estoque (BALLOU, 2006).

O estoque é essencial para a organização das atividades de produção, a manutenção de instalações e máquinas e o atendimento de outros requisitos operacionais. Entretanto, sua manutenção imobiliza recursos financeiros que poderiam ser empregados de forma mais produtiva. Por essa razão, níveis elevados de estoque exigem acompanhamento e controle rigorosos por parte da administração (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017).

De acordo com Vieira (2009), a gestão de estoque é uma atividade primária na logística, e seu objetivo fundamental é garantir a disponibilidade de materiais e/ou produtos evitando a mobilização de recursos financeiros. A gestão de estoque visa minimizar os custos de armazenagem e manuseio do estoque, que vem se tornando mais complexo dado a crescente demanda de produtos customizáveis e de ciclo de vida curto (VIEIRA, 2009).

A essência da gestão de estoque é melhorar as operações de negócios de modo a garantir um fluxo eficaz de bens, produtos e serviços (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017). O progresso nas técnicas e princípios de gestão melhora a movimentação de carga, velocidade de entrega, qualidade do serviço, custos de operação, utilização de instalações e economia de energia (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017). O gerenciamento de estoque é uma parte crucial na manipulação da logística (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017).

A escolha de uma estratégia de gestão de estoque deve ponderar sobre o momento ideal de compra, a quantidade ideal, os melhores preços, segurança e a qualidade no atendimento ao cliente, deve-se também analisar como a cadeia de suprimentos é impactada pelo giro de material, pois quanto maior o giro maior a tendência a descentralizar por diversos armazéns (VIEIRA, 2009).

Segundo Liao, Lin e Shin (2010), estoque pode ter vários nomes dependendo de qual estágio da cadeia de produção ele reside; um produto é visto como matéria-prima se mantido no estoque do fornecedor; como produto em trabalho se estocado entre processos; ou como bens finalizados quando são enviados para o cliente. Enquanto o produto está em trânsito, é comum classificar os produtos transportados como estoques de trânsito ou de canal (VIEIRA, 2009). Independentemente do tipo de produto, uma boa gestão de estoque armazena e movimenta seus bens de forma eficiente, a fim de atender o interesse de toda a cadeia de suprimentos de forma satisfatória (LIAO; LIN; SHIN, 2010).

As estratégias de gestão de estoque são extremamente importantes para as operações comerciais porque o sucesso e a redução de custos das despesas da empresa exigem um melhor desempenho da cadeia de suprimento e conhecimento aos funcionários (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017). Essas técnicas são críticas e o conhecimento delas é altamente desejável, portanto, os gestores e

o pessoal de compras precisam ser capazes de aplicar as técnicas em benefício da organização (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017).

Estoque de segurança é o estoque que uma empresa mantém acima das necessidades normais como proteção contra atrasos no recebimento de fornecimento ou mudanças na demanda dos clientes (VITASEK, 2013). Segundo Vieira (2009), estoques de segurança são necessários quando o lead time (quanto tempo se passa entre a colocação do pedido até o atendimento do cliente) dos fornecedores não é confiável ou a grande flutuação na demanda. Quando os produtos possuem picos de consumo em certas épocas, é comum organizar estoques de antecipação ou sazonal, para assim manter a produção estável e atender os picos de demanda (VIEIRA, 2009).

Segundo Vieira (2009), a melhor estratégia de gestão de estoques da empresa é relacionada ao sistema de produção *Just-in-time* (JIT), por lidar com estoques minimizados para a operação, transformando estocagem em uma função transitória, com o objetivo de produzir altos volumes com o mínimo de matéria-prima e estoques intermediários. A fim de obter os insumos para produção, é muito comum o uso do cálculo de Lote Econômico de Compras (LEC), que leva em conta qual o tamanho ideal de lote que deve ser comprado para atender as necessidades da produção e manter os custos de transportes efetivos (VIEIRA, 2009).

Kanban é uma forma de “puxar” a produção do ponto mais baixo da cadeia, a fim de encontrar gargalos (CHRISTOPHER, 2016). Foi popularizado pela Toyota Corporation e traduz do japonês “registro visível”, usa contêineres com tamanhos de lote para entregar as peças necessárias, os contêineres vazios são então devolvidos à fonte como um sinal para reabastecer as peças associadas na especificada quantidade (VITASEK, 2013).

As organizações precisam garantir que possuem estoque adequado para suas operações e distribuição (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017). Entre as estratégias utilizadas para priorização e controle de estoques, destaca-se a análise ABC. Essa técnica baseia-se no princípio de Pareto, segundo o qual uma pequena parcela dos itens tende a representar grande parte do valor movimentado ou investido. Assim, os itens são classificados em categorias A, B e C conforme sua importância relativa para a gestão. Os itens A geralmente representam menor quantidade, mas maior valor ou impacto; os itens C representam maior quantidade, mas menor valor individual; e os itens B ocupam uma posição intermediária. É importante destacar que a análise ABC de estoques não deve ser confundida com o Custeio Baseado em Atividades, também conhecido como *Activity-Based Costing*. Enquanto a análise ABC classifica itens de estoque conforme sua relevância para controle e priorização gerencial, o Custeio Baseado em Atividades é uma metodologia contábil voltada à alocação de custos com base nas atividades realizadas pela organização (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017). A análise ABC separa os itens em três classificações: itens A, que consiste em poucos itens com alto valor agregado, itens C, que são relativos a muitos itens com baixo investimento e itens B que representam itens entre as categorias A e C (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017).

Se o gerenciamento de estoque for inadequado, poderá criar gargalos na cadeia de suprimentos e causar gastos consideráveis (ZENG et al., 2021). Assim, como estabelecer uma ferramenta dinâmica de controle de estoque conectada aos processos logísticos ou explorar um modelo de controle de estoque multinível adaptado para as mudanças nas demandas do mercado global são tópicos com altas pesquisas (ZENG et al., 2021). O gerenciamento de estoque envolve uma compensação entre os custos associados à manutenção do estoque versus os benefícios de manter estoque (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017). O benefício de um inventário é garantir que as mercadorias serão disponíveis conforme necessário (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017). Uma boa gestão de estoque não é apenas uma simples vantagem competitiva, mas sim uma capacidade essencial para sobreviver num mercado global (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017). A operação de gestão de estoque determina a eficiência de armazenamento dos produtos (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017). Objetivos da gestão de estoques incluem minimizar o custo total para garantir operações lucrativas e maximizar o nível de serviço ao cliente (OLUWASEYI; ONIFADE; ODEYINKA, 2017). Entretanto, a estratégia ideal para gestão de estoque deve ser analisada para cada empresa e cada cadeia de suprimento, de forma a melhor se adequar a situação da organização (VIERIA, 2009).

2.3. Cross-Docking.

Cross-docking é definido como uma estratégia de gestão de estoques em que a carga é descarregada dos veículos que chegam e carregados diretamente em veículos de saída, com pouco ou nenhum armazenamento entre eles (VAN BELLE; VALCKENAERS; CATTRYSSSE, 2012). Trata-se de uma estratégia utilizada por muitas empresas em diferentes setores, como varejo e provedores de logística de carga fracionada, tem função de transferir remessas recebidas diretamente para veículos de saída sem armazená-las entre esses processos (VAN BELLE; VALCKENAERS; CATTRYSSSE, 2012). Essa prática pode atender a diversos objetivos, como a consolidação de remessas, redução do lead time de entrega, e diminuição de custos operacionais (VAN BELLE; VALCKENAERS; CATTRYSSSE, 2012).

O *cross-docking* realiza o papel de consolidar pedidos de remessas recebidas para facilitar a separação em um centro de distribuição para remessas de saída (WEN et al., 2009). A estratégia agrupa as remessas recebidas de diferentes fontes e as despacha diretamente, sem a necessidade de armazenamento prolongado (WEN et al., 2009). Assim, o *cross-docking* elimina a função de manutenção de estoque de um armazém tradicional, permitindo a rápida consolidação e envio de mercadorias para os destinos, resultando em benefícios como redução de custos, espaço de armazenamento e tempo de ciclo de pedidos (WEN et al., 2009).

A sincronização operacional também permanece como um desafio atual nas pesquisas sobre *cross-docking*. Noh et al. (2025) analisam o problema de programação de caminhões de entrada em terminais de *cross-docking*, buscando simultaneamente reduzir tempos de espera e balancear a carga de trabalho nas áreas temporárias do terminal. Essa contribuição reforça que a eficiência do *cross-docking* depende não apenas da eliminação da armazenagem, mas também da coordenação entre chegada de veículos, capacidade de processamento, disponibilidade de docas e equilíbrio das atividades internas.

Cross-docking é uma estratégia para entregar produtos em até 24 horas a partir do recebimento até o envio ao cliente (AGUSTINA; LEE; PIPLANI, 2014). Um armazenamento tradicional realiza quatro atividades principais: recebimento, armazenamento, separação e envio; o *cross-docking* elimina o armazenamento e atividades de separação, que são caras e demoradas (AGUSTINA; LEE; PIPLANI, 2014). Nesse modelo de distribuição permite-se a consolidação de remessas com carga inferior a um caminhão em cargas completas, sem armazenamento de longo prazo (BUIJS; VIS; CARLO, 2014). Devido à ausência de um buffer de armazenamento dentro de um *cross-dock*, as operações de *cross-docking* locais e em toda a rede precisam ser cuidadosamente sincronizados (BUIJS; VIS; CARLO, 2014).

O *cross-docking* é uma estratégia que vem se difundindo pela boa sinergia com as práticas do JIT (VIEIRA, 2009). No *cross-docking*, os fluxos de mercadorias devem ser rápidos devido à alta coordenação necessária com o transporte, reduz os custos de transporte por condensar as cargas e, idealmente, elimina os estoques (VIEIRA, 2009). Para isso, o tempo total de permanência das mercadorias deve ser mínimo, o produto deve ser enviado ou mantido na área de coleta, nunca estocado, e, por fim, as informações devem ser claras, mantendo os tempos de chegada e saída dos produtos coordenados (VIEIRA, 2009).

Por mais que o *cross-docking* seja compatível com o JIT, ele deve ser utilizado apenas em situações específicas, em que alguns critérios devem ser atendidos para se obter uma logística eficaz (VAN BELLE; VALCKENAERS; CATTRYSSSE, 2012). A estratégia de *cross-docking* funciona de forma mais adequada quando a taxa de chegada e saída de produtos é constante e balanceada, e quando o custo pela falta de estoque é baixo, devido aos baixos níveis de estoque as chances da falta de produto são maiores, porém, em situações em que as demandas são imprevisíveis e/ou os custos pela falta de estoque altos, torna-se mais vantajosas estratégias de estocagem convencionais (VAN BELLE; VALCKENAERS; CATTRYSSSE, 2012).

O *cross-docking* é um processo complexo, cheio de detalhes, e que por isso mesmo exige maturidade dos clientes e dos fornecedores, no sentido de saber especificar suas necessidades reais e suas limitações (VIEIRA, 2009). Por conta disso, ele possui diversas desvantagens e dificuldades que devem ser analisadas incluindo a necessidade de sincronização dos funcionários e demandas; a falta de visão holística da gerência; sistemas de informações inadequados; e a insegurança causada pela ausência de estoques (VIEIRA, 2009).

Para aproveitar as vantagens do *cross-docking*, os problemas de programação e roteamento precisam ser resolvidos, levando em consideração as complicadas rotas de entrega, considerando as janelas de tempo do cliente e para minimizar os custos de antecedência e/ou atraso, custos de

manutenção de estoque e custos de transporte, respeitando as restrições associadas (AGUSTINA; LEE; PIPLANI, 2014). O centro de *cross-docking* também permite consolidação de pedidos e entrega em caminhão completo, em vez de carga inferior a um caminhão, para reduzir o transporte custo (AGUSTINA; LEE; PIPLANI, 2014). Assim, uma vantagem chave do *cross-docking* é a economia de custos em comparação com o armazém tradicional, economia em custos de armazenamento, custo de estoque, custo de transporte e custos trabalhistas (AGUSTINA; LEE; PIPLANI, 2014).

Buijs, Vis e Carlo (2014) agrupam os problemas relacionados ao *cross-docking* em seis categorias principais. As três primeiras referem-se ao próprio centro de *cross-docking*: problemas de projeto, planejamento e programação. As três demais dizem respeito à cadeia de suprimentos na qual a estratégia está inserida: projeto da rede, planejamento da distribuição e programação das operações ao longo da cadeia. Essa classificação permite distinguir decisões estruturais, como configuração do terminal, número de docas e layout, de decisões operacionais, como sequenciamento de caminhões, roteirização, consolidação de cargas, alocação de recursos e cumprimento de janelas de tempo (BUIJS; VIS; CARLO, 2014).

De acordo com Van Belle, Valckenaers e Cattrysse (2012), existem três tipos principais de *cross-docking*: o de um toque, dois toques e múltiplos toques. O de um toque, ou *cross-docking* puro, os recebidos e carregados diretamente em um caminhão de saída, sem armazenamento intermediário (VAN BELLE; VALCKENAERS; CATTRYSSSE, 2012). No de dois toques, ou *cross-docking* de estágio único, os produtos são recebidos e colocados em estágio no pátio até serem carregados para o transporte de saída, e as mercadorias costumam ser colocadas em zonas correspondentes às saídas (VAN BELLE; VALCKENAERS; CATTRYSSSE, 2012). Por fim, o de múltiplos toques, ou *cross-docking* de dois estágios, os produtos são recebidos, colocados em estágio no pátio, reconfigurados para o envio e carregados em caminhões de saída, e as mercadorias são inicialmente colocadas em zonas correspondentes às entradas sendo, em seguida, classificadas para as zonas correspondentes às saídas (VAN BELLE; VALCKENAERS; CATTRYSSSE, 2012).

É importante considerar os três principais tipos de *cross-docking* para escolher o modelo que se encaixa de forma mais coerente com a realidade logística praticada pela organização (VAN BELLE; VALCKENAERS; CATTRYSSSE, 2012). Para definir o formato físico otimizado para o centro de distribuição do *cross-docking* é necessário considerar diversas características como o número de docas, o padrão de fluxo de carga, a proporção de portas de entrada e a atribuição das portas de saída (BUIJS; VIS; CARLO, 2014).

Existem diversos formatos de estruturas que buscam atender cada necessidade, porém os mais eficientes para o *cross-docking* são estruturas em formato de I, T e X (BUIJS; VIS; CARLO, 2014). O formato em I, também chamado de formato retangular, é geralmente utilizado em operações com número moderado de docas e fluxo relativamente linear entre recebimento e expedição. Nesse tipo de configuração, os produtos tendem a atravessar o terminal em uma direção predominante, o que facilita a organização operacional, mas pode aumentar distâncias internas quando o número de portas cresce. O formato em T permite maior separação entre os fluxos de entrada e saída, sendo adequado para operações com maior volume ou maior necessidade de organização das movimentações internas. Já o formato em X é utilizado em operações mais complexas, com maior número de origens e destinos, pois amplia as possibilidades de conexão entre docas de recebimento e expedição, podendo reduzir deslocamentos internos e favorecer a consolidação de cargas. A escolha do formato físico depende, portanto, do volume movimentado, do número de docas, da variedade de destinos, da frequência de chegada dos veículos e da complexidade da operação (BUIJS; VIS; CARLO, 2014).

Ainda, o *cross-docking* pode ser classificado segundo a rota de veículos em *cross-docking* de rede aberta e *cross-docking* de rede fechada (WEN et al., 2009). No *cross-docking* de rede aberta, o fluxo de distribuição começa em um único fornecedor e termina em um único cliente via um centro de distribuição, sem formar nenhum “loop”. Já no *cross-docking* de rede fechada, o fluxo de distribuição forma um “loop” fechado, onde os produtos são enviados de um fornecedor para um cliente através de um ou mais centros de distribuição, nesse caso os desafios analisados se dão pela rota de cada veículo, passando pelo maior número de fornecedores e clientes no menor tempo possível (WEN et al., 2009).

A articulação dos conceitos apresentados permite compreender o *cross-docking* como uma estratégia situada na interface entre Gestão da Cadeia de Suprimentos, logística, gestão de estoques e produção Just in Time. A Gestão da Cadeia de Suprimentos fornece a perspectiva de integração e coordenação entre fornecedores, transportadores, centros de distribuição e clientes; a logística estabelece

os fluxos de transporte, movimentação e distribuição; e a gestão de estoques permite avaliar os custos e os riscos associados à manutenção ou à redução dos estoques intermediários. A lógica Just in Time fundamenta a sincronização entre recebimento e expedição, enquanto a classificação ABC pode auxiliar na diferenciação dos itens segundo sua relevância econômica e operacional. Esses conceitos não representam elementos independentes: em conjunto, sustentam a avaliação das condições necessárias à adoção do *cross-docking*, especialmente quanto à previsibilidade da demanda, frequência de abastecimento, volume movimentado, compatibilidade dos destinos, disponibilidade de informações e cumprimento dos prazos de entrega.

3. Método de pesquisa.

O método de pesquisa combina técnicas de mapeamento científico, revisão sistemática da literatura, análise de conteúdo e proposição de um modelo conceitual de apoio à decisão, conforme resumido na Figura 1 e detalhado nas etapas seguintes. O modelo desenvolvido possui natureza conceitual e qualitativa, sendo construído a partir da integração e da síntese das evidências identificadas na literatura.

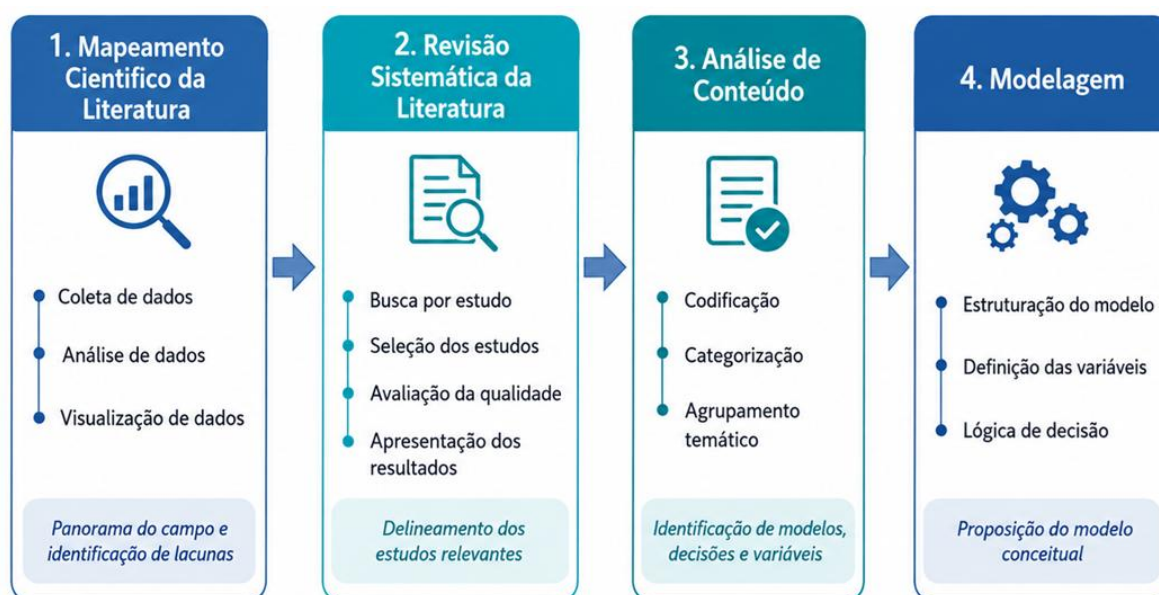


Figura 1 - Etapas do método de pesquisa. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.1. O mapeamento científico.

Combinando técnicas de bibliometria, é indicado para analisar um campo de estudo de uma forma abrangente, identificando padrões na literatura por interpretações e descrições gráficas (ZUPIC; CATER, 2015). No presente estudo, o mapeamento científico foi utilizado para caracterizar o campo de pesquisa sobre GCS e *cross-docking*. Essa etapa permite identificar a evolução temporal das publicações, os principais autores, documentos influentes, países mais produtivos, redes de citação e temas recorrentes. Os resultados do mapeamento não foram utilizados apenas para descrever a produção científica, mas também para orientar a revisão sistemática da literatura, especialmente na identificação de temas centrais e lacunas de pesquisa. Dessa forma, o mapeamento científico permite delimitar o campo investigado e apoiar a construção das categorias utilizadas na análise de conteúdo. O protocolo utilizado é baseado nos direcionamentos de Aria e Cuccurullo (2017).

A base indexadora Web of Science foi escolhida para coleta de dados por sua referência pelo DOI, o que evita erros de processamento. Foram selecionados documentos publicados em inglês e classificados como artigos, artigos em acesso antecipado ou artigos de revisão. A seguinte *string* de busca utilizada na base de dados: (TS = “supply chain mang*” AND “cross dock*”) AND IDIOMA: (English) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article OR Early Access OR Review). Os registros foram exportados com referências citadas e metadados completos, incluindo autores, título, resumo, palavras-

chave, periódico, ano, afiliações, países, DOI e referências. A análise bibliométrica descritiva permite identificar os principais autores, periódicos e publicações de forma quantitativa (ZUPIC; CATER, 2015).

A amostra inicial foi processada no pacote R Bibliometrix V. 4.1. e no software VOS Viewer V. 1.6.20 (VAN ECK; WALTMAN, 2010; ARIA; CUCCURULLO, 2017). A análise bibliométrica descritiva permite identificar os principais autores, periódicos e publicações de forma quantitativa (ZUPIC; CATER, 2015). Os softwares possibilitaram a criação de gráficos e tabelas utilizando metadados dos documentos. As estruturas do conhecimento (intelectual, conceitual e social) e a dinâmica do campo de estudo foram interpretadas utilizando as evidências coletadas nos mapas resultantes (COBO et al., 2011). O mapeamento científico contribui diretamente para responder ao objetivo do artigo ao indicar quais aspectos do *cross-docking* têm sido mais estudados e quais lacunas ainda permanecem em relação à proposição de modelos gerenciais de apoio à decisão. A revisão sistemática da literatura teve como objetivo aprofundar a análise dos estudos que tratam de modelos, decisões e variáveis relacionadas ao *cross-docking*.

3.2. A revisão sistemática da literatura.

Foi conduzida com base em um protocolo estruturado, composto pelas seguintes etapas: definição da questão de pesquisa, definição da estratégia de busca, seleção dos estudos, extração dos dados, análise de conteúdo e síntese dos resultados. Esse procedimento foi adotado para garantir maior transparência, rastreabilidade e organização ao processo de revisão. A revisão sistemática da literatura pode auxiliar o pesquisador a comparar os dados por ele coletados com o de pesquisas feitas anteriormente, já que indicam as recentes pesquisas que estão sendo feitas (BRIZOLA; FANTIN, 2016). Embora não haja um único modo de executar, o método é comumente dividido em etapas, sendo elas a busca, a seleção dos estudos, a avaliação da qualidade dos estudos selecionados e a apresentação dos resultados obtidos (MORANDI; CAMARGO, 2015).

Foram considerados artigos que abordavam operações de *cross-docking*, modelos de decisão, roteirização, programação de veículos, consolidação de cargas, configuração de terminais ou integração com a cadeia de suprimentos. Foram excluídos estudos que não tratavam diretamente de *cross-docking*, documentos duplicados, textos sem relação com modelos ou operações logísticas e trabalhos cujo foco estivesse distante do objetivo desta pesquisa. O processo de seleção foi realizado em duas etapas. Na primeira, os títulos e resumos dos registros recuperados foram examinados para verificar sua aderência ao objetivo da pesquisa. Na segunda, os estudos potencialmente relevantes foram avaliados por meio da leitura do texto completo. Foram excluídos documentos duplicados, estudos que apenas mencionavam o *cross-docking* sem analisá-lo diretamente e trabalhos sem informações sobre modelos, decisões, variáveis ou operações logísticas. Para cada artigo selecionado, foram extraídas as seguintes informações: objetivo, contexto de aplicação, método empregado, tipo de modelo, problema operacional abordado, variáveis consideradas, critérios de decisão, indicadores de desempenho, principais resultados, limitações e contribuições para o desenvolvimento do modelo conceitual.

3.3. A análise de conteúdo.

Foi utilizada como técnica para interpretar os artigos selecionados na revisão sistemática da literatura e identificar padrões relacionados aos modelos, decisões e variáveis presentes nos estudos sobre *cross-docking*. Essa etapa teve caráter qualitativo e categorial, sendo conduzida a partir da leitura integral ou parcial dos artigos, com foco nos objetivos, métodos, variáveis analisadas, tipo de modelo proposto, contexto de aplicação e principais resultados apresentados pelos autores. A análise de conteúdo buscou identificar os principais temas estudados, os desafios recorrentes, os tipos de modelos utilizados, as variáveis de decisão consideradas e as contribuições desses estudos para a proposição de um modelo conceitual de apoio à decisão.

3.4. A proposição de um modelo conceitual.

Constituiu a etapa final da pesquisa consistiu na elaboração de um modelo conceitual de apoio à decisão. O modelo foi desenvolvido qualitativamente por meio da integração dos resultados do mapeamento científico, das categorias identificadas na análise de conteúdo e das etapas, variáveis e decisões operacionais encontradas nos estudos sobre *cross-docking*. Sua finalidade é organizar, de maneira estruturada, os elementos que devem ser considerados por gestores na avaliação preliminar da adoção do *cross-docking* em cadeias de suprimentos com demanda variável.

4. Resultados.

4.1. Mapeamento Científico.

A coleta de dados ocorreu em 06/04/2024, e resultou em um total de 225 artigos. Dessa amostra, 207 foram classificados como artigos (10 em acesso antecipado) e 8 como revisões. O período de publicação foi de 2002 a 2024. Investigando a estrutura intelectual do (Figura 2), a produção científica e a média de citações por ano, respectivamente indicam que o campo de estudo é novo, com um crescimento expressivo na produção científica desde 2016, alcançando um máximo de 28 publicações em 2023. Atualmente, o campo tem taxa de crescimento de 11,96% ao ano.

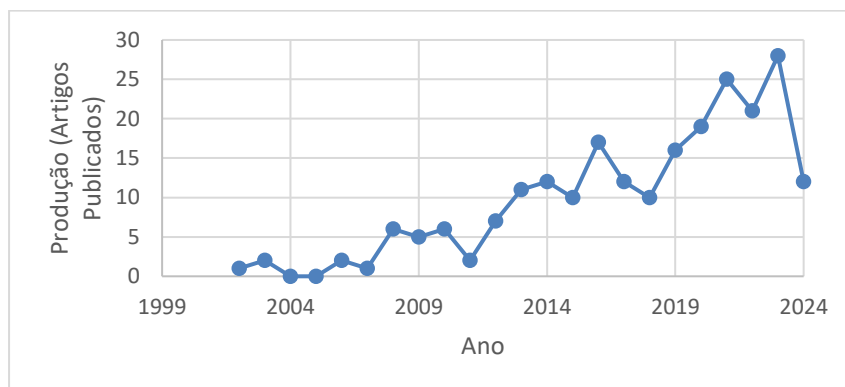


Figura 2 - Produção científica. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Como uma segunda análise da estrutura intelectual, apresenta-se na Figura 3 a rede social de citações, onde identificam-se 2 clusters referentes à linhas de pesquisa no campo: *cross-docking*, que se destacam Van Belle (2012) e Wen (2009), e GCS, que se destacam Dulebenets (2021) e Agustina (2014).

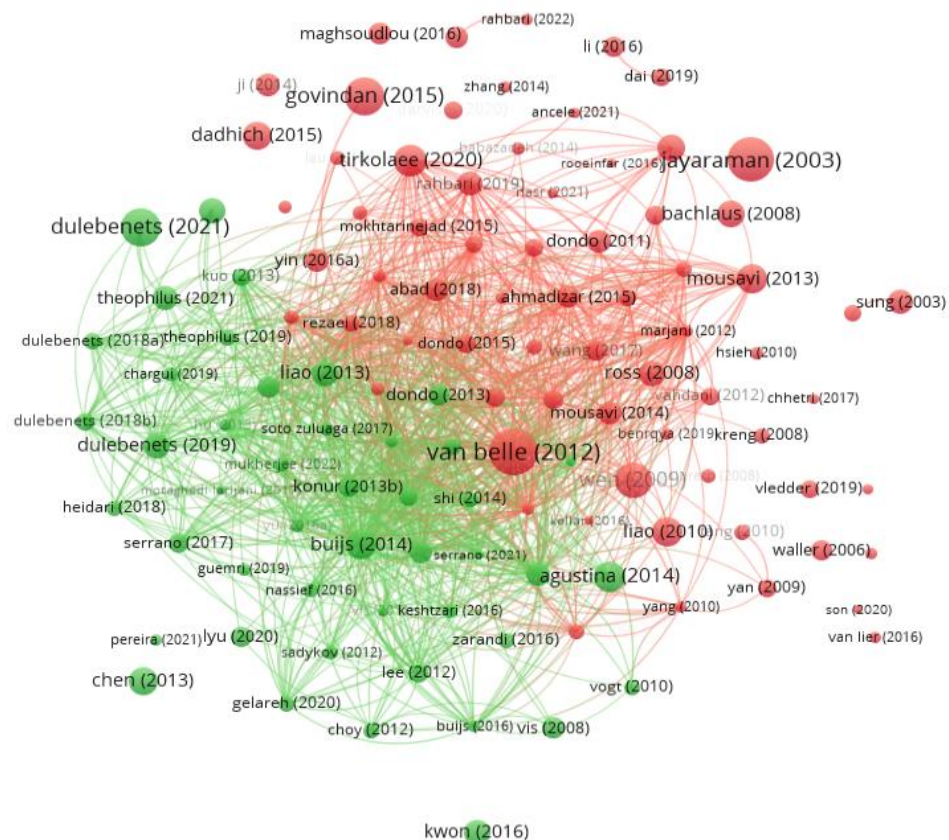


Figura 3 – Rede social de citações. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A estrutura conceitual do campo foi ilustrada pela análise de concorrência de palavras-chave (Figura 4). As palavras-chave mais recorrentes nos artigos da amostra formam 5 distintos cluster temáticos: *Cross-docking* (Azul); Agendamento de veículos, algoritmo genético e terminal de *cross-docking* (Roxo); sustentabilidade, e produtos perecíveis (Verde); Roteamento de veículos, *cross-dock* e cadeia de suprimento (Amarelo); GCS, logística e otimização (Vermelho).

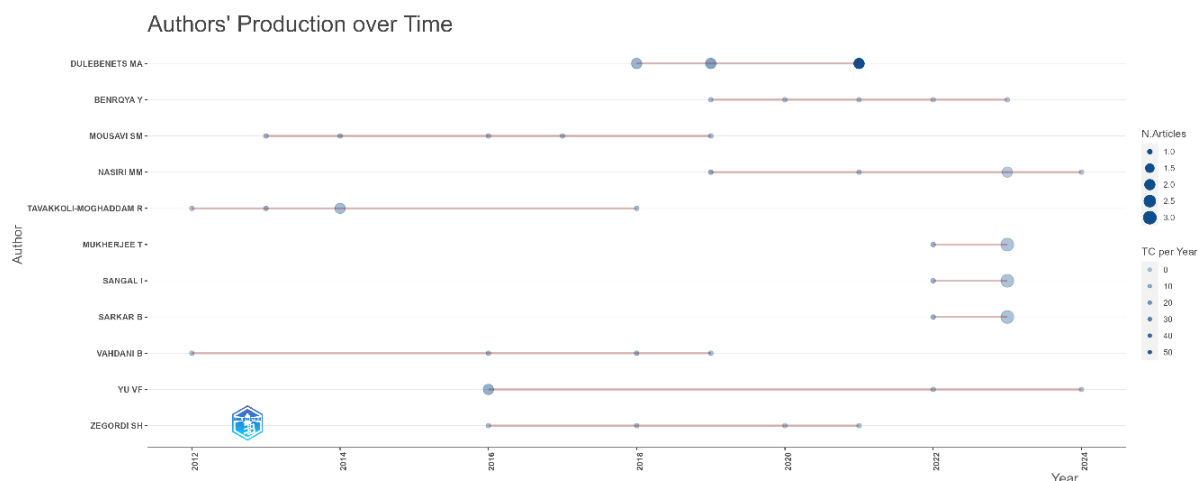


Figura 5 - Produção científica dos principais autores. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

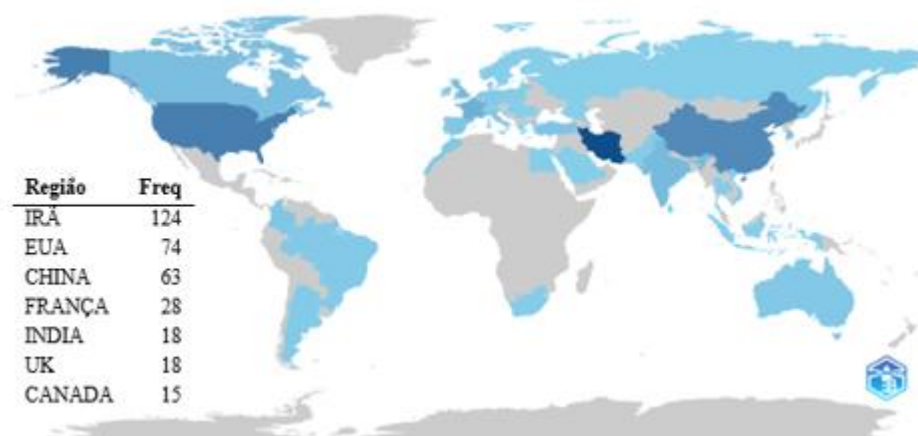


Figura 6 – Colaboração científica entre os países. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Os resultados do mapeamento científico foram utilizados para compreender a estrutura do campo e orientar a etapa seguinte da pesquisa. A análise da produção científica permitiu verificar o crescimento do interesse acadêmico pelo tema, enquanto as redes de citação auxiliaram na identificação de autores e trabalhos influentes. Já a análise de palavras-chave evidenciou temas recorrentes, como *cross-docking*, roteirização de veículos, programação, otimização, sustentabilidade, produtos perecíveis, logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos. Esses temas serviram de base para a definição das categorias observadas na revisão sistemática e na análise de conteúdo.

4.2. Revisão sistemática da literatura.

A partir dos 44 artigos selecionados, realizou-se uma análise de conteúdo voltada à identificação dos principais temas investigados, dos desafios recorrentes e dos elementos que poderiam subsidiar a proposição do modelo conceitual deste estudo.

Os resultados indicam que os trabalhos analisados se concentram principalmente em problemas operacionais específicos. Wen et al. (2009), por exemplo, abordam a roteirização de veículos associada ao *cross-docking*, enquanto Agustina, Lee e Iplani (2014) integram decisões de programação e roteirização de veículos em cadeias de suprimentos de alimentos. Shi et al. (2013, 2014) analisam o projeto de centros de *cross-docking* orientados pela lógica Just in Time, considerando múltiplos critérios e variáveis operacionais. Suh (2014) utiliza simulação multiagente para avaliar e otimizar uma operação de *cross-docking*. Mais recentemente, Altaf et al. (2025) investigam a atribuição de docas diante de parâmetros de custo incertos, enquanto Noh et al. (2025) tratam da programação de caminhões de

entrada para o balanceamento da carga de trabalho nos terminais. Em conjunto, esses estudos demonstram o predomínio de modelos matemáticos, heurísticas, algoritmos de otimização e simulações direcionados à solução de problemas como roteirização, programação de veículos e docas, consolidação de cargas, redução de custos, diminuição de atrasos e melhoria do nível de serviço.

Entre os estudos recentes, também se observa atenção aos problemas de alocação de docas e incerteza operacional. Altaf et al. (2025) tratam do problema de atribuição de docas com armazenamento temporário e parâmetros de custo incertos, evidenciando que decisões de *cross-docking* precisam lidar com variações de custo, capacidade e fluxo. Esse tipo de estudo reforça que o uso de áreas temporárias, embora não seja o objetivo principal do *cross-docking* puro, pode ser necessário em contextos de maior incerteza e demanda variável.

Entretanto, a análise de conteúdo também evidenciou que parte significativa da literatura trata o *cross-docking* a partir de problemas isolados, como o sequenciamento de caminhões, a definição de rotas ou a ocupação de docas. Embora esses aspectos sejam fundamentais, eles nem sempre são integrados em uma estrutura gerencial mais ampla, capaz de apoiar a decisão de adoção do *cross-docking* em empresas com demanda variável. Essa constatação reforça a relevância da presente pesquisa, pois o modelo proposto busca organizar, em uma estrutura conceitual, as principais decisões envolvidas na aplicação da estratégia.

A análise dos artigos também permitiu identificar desafios recorrentes para a implementação do *cross-docking*. Entre eles, destacam-se a necessidade de sincronização entre recebimento e expedição, a dependência de informações confiáveis, a dificuldade de consolidar cargas em contextos de demanda instável, o risco de atrasos, a necessidade de coordenação entre diferentes agentes da cadeia e a possibilidade de o *cross-docking* perder eficiência quando há necessidade frequente de armazenamento temporário. Esses desafios são especialmente relevantes para empresas de pequeno e médio porte ou para operações em que o volume de pedidos não é constante.

Entre os estudos analisados, foram selecionados três modelos representativos para discussão detalhada. Esses modelos foram considerados relevantes porque sintetizam aspectos recorrentes encontrados na análise de conteúdo, como recebimento de mercadorias, correspondência entre pedidos e itens, triagem, uso de armazenamento temporário, consolidação de cargas, carregamento e expedição.

O modelo apresentado na Figura 7 representa o processo de decisão em um modelo de *cross-docking* que processa remessas de Unidade de Manutenção de Estoque (SKU), que é um código alfanumérico que identifica cada item de um estoque, recebidas e pedidos originados por distribuidores. O processo de tratamento do pedido do distribuidor ocorre com diversas confirmações de correspondência dos SKU no *cross-dock* para ser marcado como “*match*” ou em trânsito para chegar dentro do lead time do distribuidor, para também ser marcado como “*match*”, caso nenhum pedido atenda os pré-requisitos, o pedido será delegado ao armazém. A entrada O SKU segue um processo de decisão semelhante ao pedido do distribuidor, caso o SKU não corresponda a nenhum pedido em aberto no *cross-dock* ele também será enviado para o armazém. O último processo de decisão envolve o trailer de envio, onde os SKUs correspondentes ao pedido estão carregados, ele apenas sai do *cross-dock* caso o tempo de espera na doca tiver acabado e o trailer estiver totalmente carregado.

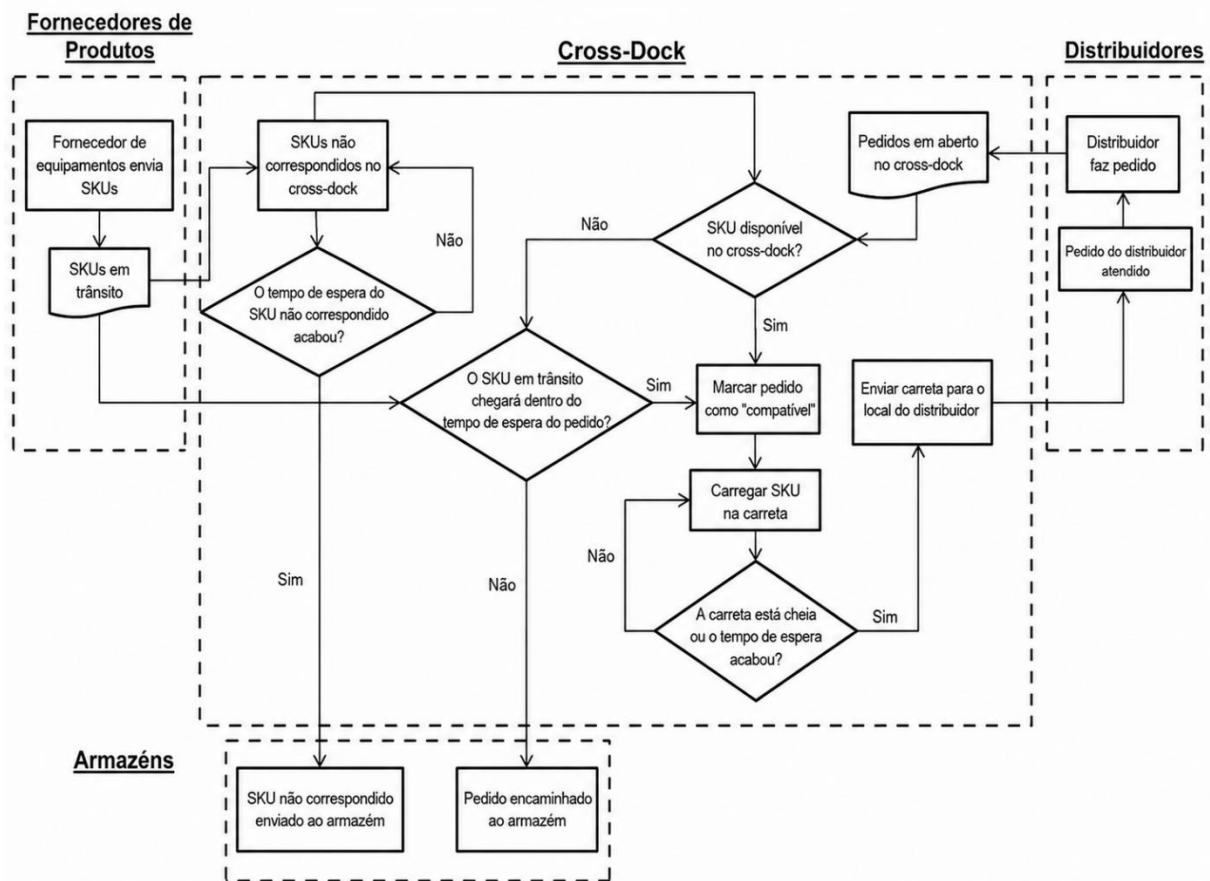


Figura 7 - Processo de decisão do modelo de *cross-docking*. Fonte: Traduzido de Suh (2014).

A Figura 8 mostra o fluxo de peças e caminhões das operações de um centro de distribuição terceirizado, o transporte de mercadorias para dentro da empresa é realizado em uma rota predefinida por um único veículo, enquanto os transportes externos são realizados apenas quando é realizado a triagem e os caminhões estão na capacidade máxima. As peças iniciam a viagem a partir de um determinado fornecedor, descarregar em uma doca de recebimento, passar pela esteira até a saída caminhão ou permanecer em área de armazenamento temporário após a triagem e, em seguida, carregar em um local doca de embarque e termina em uma fábrica.

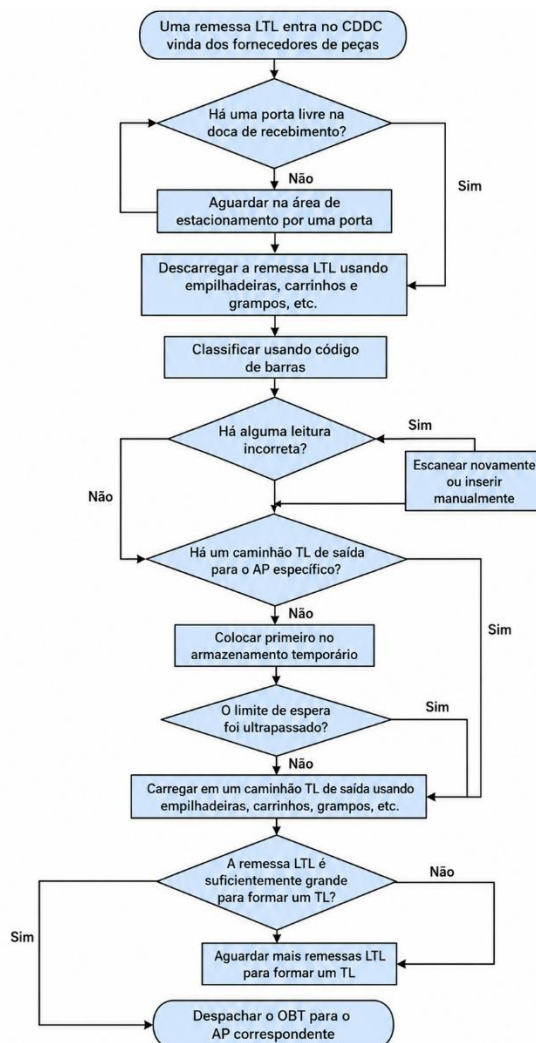


Figura 8 - O fluxo de peças e caminhões, e a operação do centro de distribuição 3PL.
Fonte: Traduzido de Shi et al. (2013).

A Figura 9 apresenta um modelo dividido em sete submodelos inter-relacionados baseado na terceirização logística para coleta de produtos em um roteiro previamente definido e distribuição por *cross-docking* (3PL-MRCD). O diagrama sequencial mostra o fluxo das peças através do sistema, o primeiro submodelo detalha a chegada dos produtos de forma eficiente, o segundo submodelo recebe os produtos, o terceiro submodelo descarrega, realizada a triagem no centro de distribuição de *cross-docking* e confere se é possível enviar direto ou se tem a necessidade de estoque temporário, o quarto submodelo confirma se é possível enviar ou se passou o prazo, o quinto submodelo direciona o produto para a doca de envio, o sexto submodelo carrega o produto e confirma se o caminhão está totalmente carregado, e o sétimo submodelo direciona o caminhão para o destino final.

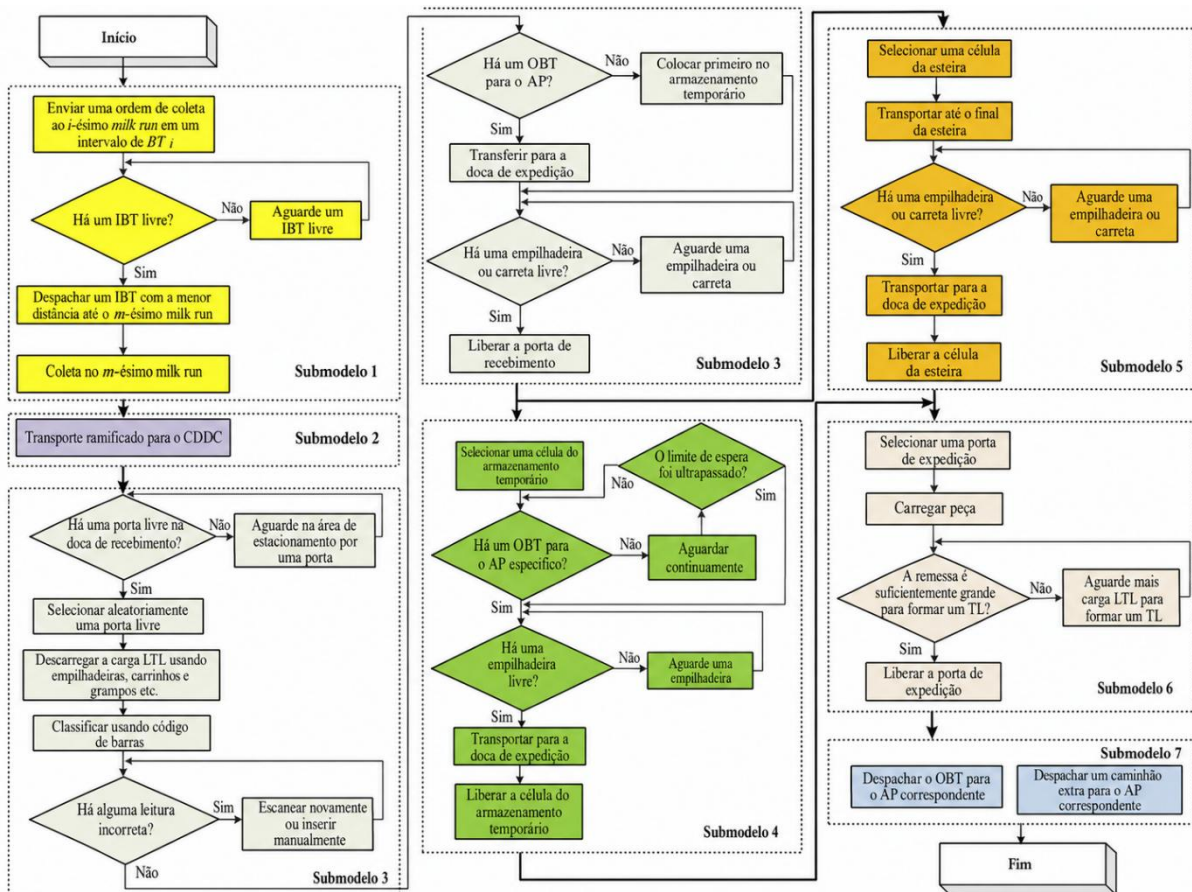


Figura 9 - Fluxo das peças no sistema 3PL-MRCD. Fonte: Traduzido de Shi et al. (2014).

A análise conjunta dos três modelos evidencia que a operação de *cross-docking* envolve etapas interdependentes e pontos críticos de decisão. Entre as etapas recorrentes, destacam-se o recebimento das mercadorias, a identificação dos itens, a verificação de correspondência com pedidos, a triagem, a consolidação, a definição do destino, o carregamento e a expedição. Em cada uma dessas etapas, o gestor precisa decidir se o item deve seguir diretamente para expedição, aguardar temporariamente a formação de carga, ser direcionado ao armazém ou ser tratado por outro fluxo logístico.

A comparação entre os modelos evidencia que a literatura oferece contribuições relevantes para representar fluxos operacionais específicos do *cross-docking*. Contudo, os modelos analisados tendem a concentrar-se em problemas particulares, como processamento de SKUs, fluxo de peças, roteirização, triagem ou consolidação de cargas. Dessa forma, permanece a necessidade de um modelo mais amplo, voltado à tomada de decisão gerencial, que auxilie empresas a avaliar a aplicação do *cross-docking* em contextos de demanda variável.

Os modelos analisados também evidenciam oportunidades e desafios. Como oportunidades, destacam-se a redução de estoques intermediários, a diminuição do tempo de ciclo, o aumento da ocupação dos veículos e a melhoria da coordenação logística. Como desafios, observam-se a necessidade de sincronização entre recebimento e expedição, a dependência de informações precisas, a variabilidade da demanda, o risco de atrasos e a dificuldade de consolidar cargas quando o volume de pedidos é instável. Esses elementos fundamentam a proposição do modelo conceitual apresentado na seção seguinte.

4.3. Proposta de modelo.

A partir dos resultados do mapeamento científico e da revisão sistemática da literatura, foi desenvolvido um modelo conceitual de apoio à decisão para a adoção do *cross-docking* em cadeias de

suprimentos com demanda variável. O modelo direciona-se especialmente a empresas de pequeno e médio porte ou a operações que não possuem fluxo constante de pedidos e cargas completas. Esse recorte foi adotado porque a literatura mostra que o *cross-docking* tende a funcionar melhor quando há elevada sincronização entre recebimento e expedição, previsibilidade de demanda, disponibilidade de informações e volume suficiente para consolidação de cargas.

Todos os modelos apresentados representam graficamente os processos inerentes ao *cross-docking*, evidenciando as etapas críticas e os pontos de tomada de decisão baseados nas condições operacionais específicas de cada fase. Os modelos oferecem uma visão abrangente e estruturada do funcionamento dessa estratégia logística, permitindo analisar oportunidades e desafios que podem ser encontrados ao aplicar a estratégia na organização.

A Figura 7 aprofunda a visão operacional do processo, detalhando como os itens são recebidos, processados e enviados. Um dos pontos relevantes desse modelo é a tomada de decisão em relação aos itens não correspondidos e aqueles que ultrapassam o prazo estabelecido pelo cliente. Esse detalhamento permite identificar gargalos operacionais e definir protocolos para garantir maior eficiência e agilidade no fluxo de mercadorias.

Em sequência, a Figura 8 foca especificamente nas atividades dentro do centro de distribuição de *cross-docking*. Esse modelo ilustra como lidar com cargas não completas, apresentando diretrizes para a verificação, organização e consolidação dessas cargas de forma eficiente. O modelo busca otimizar o uso dos veículos de transporte, reduzindo custos e melhorando o desempenho logístico por meio da maximização do uso do espaço disponível nas remessas.

Por fim, a Figura 9 apresenta o maior nível de detalhamento e organização. Ela divide cada etapa do processo em submodelos distintos, utilizando um esquema de cores para facilitar a análise e compreensão dos fluxos internos. O foco dessa figura está na logística interna, abrangendo desde o recebimento das mercadorias até a expedição final.

Com base na análise das figuras apresentadas, o modelo proposto na Figura 10 busca auxiliar a aplicação da estratégia de *cross-docking* em empresas, especialmente que não possuam uma demanda constante para manter as cargas sempre cheias. O principal desafio enfrentado por essas empresas é a variação no volume de pedidos, o que pode gerar períodos de ociosidade no transporte e aumento de custos operacionais. Em empresas com demanda variável, surgem desafios adicionais, como baixa ocupação dos veículos, necessidade de aguardar formação de carga, maior risco de atraso e possível uso de armazenamento temporário. Dessa forma, o modelo proposto busca apoiar decisões sobre quando expedir, quando aguardar consolidação, quando direcionar ao armazenamento convencional e quando reavaliar a viabilidade da estratégia.

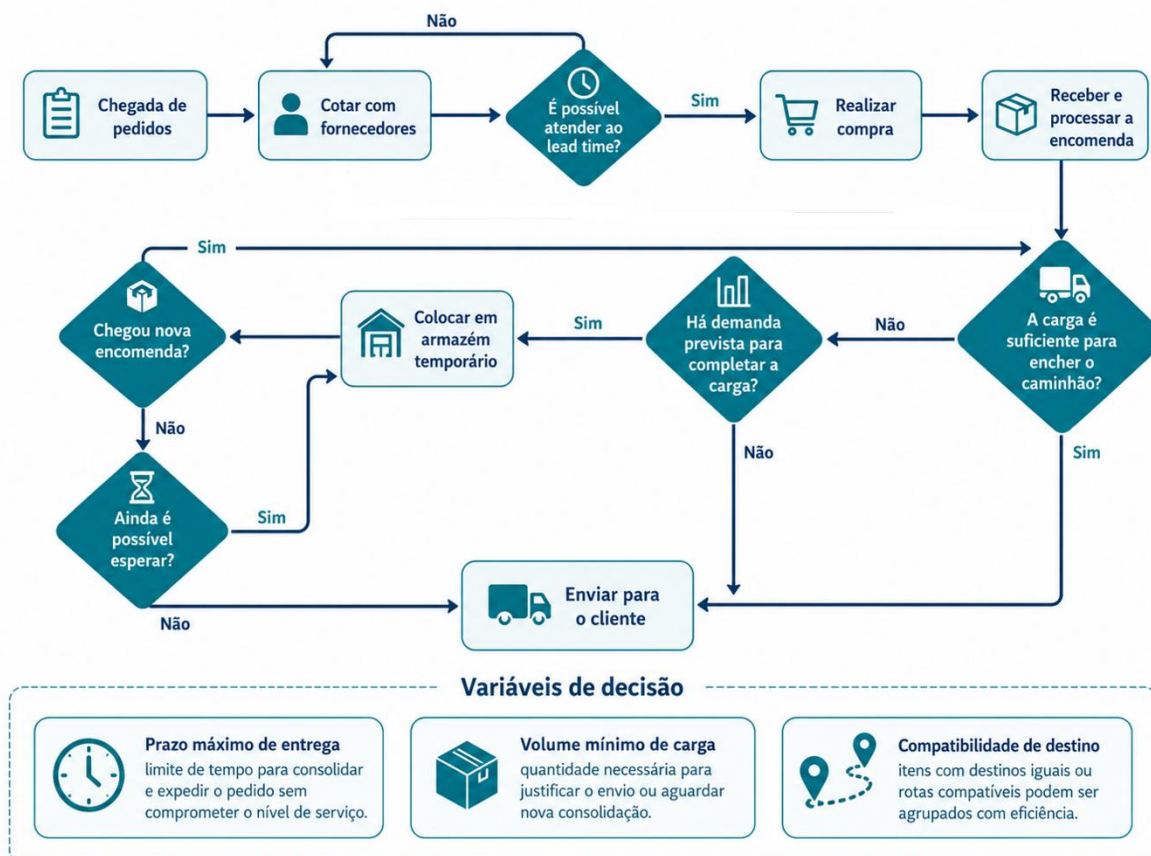


Figura 10 - Proposta de modelo. Fonte: Elaborado pelos Autores (2026).

O modelo propõe uma abordagem mais flexível a fim de buscar maior eficiência logística, mas ainda atender os prazos dos clientes. Para isso é necessário um monitoramento constante dos prazos e volumes recebidos, permitindo reduzir armazenamentos prolongados e, futuramente, erradicá-los. Quanto ao enquadramento em estratégias de gestão de operações, o modelo proposto aproxima-se de uma lógica de sistema puxado, pois a movimentação dos itens é orientada pela existência de pedidos, prazos de entrega e destinos definidos. Diferentemente de um sistema empurrado, no qual os produtos são movimentados com base em previsões ou programações antecipadas, o *cross-docking* opera de forma mais aderente à demanda efetiva dos clientes ou distribuidores. No caso do modelo proposto, trata-se de um sistema puxado por pedidos com consolidação logística. A expedição não depende apenas da existência de demanda, mas também da compatibilidade entre destinos, do prazo máximo de atendimento, da disponibilidade de veículos e do volume mínimo necessário para justificar o transporte. Assim, o modelo combina a lógica *pull* com decisões de consolidação de curto prazo, buscando equilibrar nível de serviço e eficiência logística em contextos de demanda variável.

O modelo proposto considera um conjunto de variáveis de decisão fundamentais para a adoção do *cross-docking*. A primeira variável é o prazo máximo de entrega, que define o limite de tempo disponível para que o pedido seja consolidado e expedido sem comprometer o nível de serviço ao cliente. A segunda é o volume mínimo de carga, que indica se a quantidade de produtos disponível justifica o envio ou se é mais adequado aguardar nova consolidação. A terceira variável é a compatibilidade de destino, pois apenas produtos com destinos iguais ou rotas compatíveis podem ser agrupados de forma eficiente.

Outra variável relevante é o tempo de permanência no *cross-dock*, que deve ser controlado para evitar que a operação deixe de ser uma estratégia de fluxo rápido e passe a funcionar como armazenagem convencional. Também são consideradas a disponibilidade de veículos, a capacidade de consolidação, o custo de espera em comparação ao custo de envio parcial e o impacto da decisão no nível de serviço.

A partir dessas variáveis, o modelo orienta três decisões principais: expedir imediatamente, aguardar temporariamente a formação de carga ou direcionar o produto para armazenamento convencional.

A aplicação do modelo requer que cada organização estabeleça limites operacionais compatíveis com suas características de demanda, transporte e nível de serviço. O modelo não determina valores numéricos universais, pois esses limites dependem do tipo de produto, da distância, da frequência dos pedidos, da capacidade dos veículos e dos compromissos assumidos com os clientes. Entretanto, propõe uma sequência de regras de decisão. Inicialmente, deve-se verificar a compatibilidade entre o destino do item e as rotas disponíveis. Em seguida, compara-se o tempo restante até o prazo máximo de entrega com o tempo necessário para processamento, carregamento e transporte. Quando não houver margem suficiente para aguardar, o pedido deverá ser expedido parcialmente ou direcionado para uma alternativa logística. Havendo tempo disponível, verifica-se se o volume mínimo de carga ou a taxa mínima de ocupação do veículo foi atingida. Caso esses limites tenham sido alcançados, recomenda-se a expedição; caso contrário, o item poderá aguardar temporariamente uma nova consolidação.

A decisão de aguardar deve considerar conjuntamente o custo de permanência, o custo de uma remessa parcial e o risco de redução do nível de serviço. A espera será justificável somente quando seu custo incremental e o risco de atraso forem inferiores ao custo adicional da expedição parcial. O tempo de permanência também deverá permanecer abaixo do limite definido pela organização para que a operação não se transforme em armazenagem convencional. Caso esse limite seja atingido sem a formação da carga necessária, o modelo orienta a expedição parcial, o redirecionamento para armazenagem ou a adoção de outra estratégia de distribuição. Dessa forma, prazo máximo de entrega, volume mínimo, compatibilidade de destino, custo de espera, custo de remessa parcial, ocupação do veículo e nível de serviço passam a atuar como critérios integrados de decisão.

A literatura recente também tem tratado de forma integrada decisões de programação de caminhões e posicionamento de docas. Esmaeeli et al. (2025) propõem uma abordagem híbrida baseada em algoritmo genético e colônia de formigas para otimizar a programação de caminhões e a alocação de docas em sistemas de *cross-docking*. Esse tipo de abordagem demonstra que o desempenho da estratégia depende de decisões combinadas sobre recursos físicos, sequenciamento operacional e movimentação interna, elementos que também devem ser considerados em modelos conceituais de apoio à decisão.

O modelo conceitual também permite comparar o *cross-docking* com estratégias logísticas alternativas. O armazenamento convencional tende a ser mais adequado quando a demanda apresenta alta variabilidade, os pedidos não possuem destinos compatíveis, os produtos necessitam permanecer disponíveis por períodos prolongados ou o volume movimentado é insuficiente para consolidações frequentes. Embora essa alternativa aumente os custos de estoque e armazenagem, ela oferece maior flexibilidade para absorver diferenças temporais entre oferta e demanda.

A entrega direta, por sua vez, pode ser preferível quando o fornecedor consegue completar a capacidade do veículo, o destino é único e a passagem por um terminal acrescentaria movimentações, tempo e custos sem produzir ganhos de consolidação. Já a consolidação por rotas programadas ou sistemas *milk run* pode ser adequada quando existem pequenos volumes recorrentes, fornecedores geograficamente próximos e frequência relativamente previsível de coleta. Nessas situações, a consolidação ocorre por meio da programação das rotas, sem depender exclusivamente da permanência dos itens em um terminal de *cross-docking*.

O *cross-docking* puro mostra-se mais adequado quando há volumes suficientes, destinos compatíveis, informações confiáveis, elevada sincronização entre recebimento e expedição e baixa necessidade de armazenagem. Em operações com demanda variável, uma configuração híbrida, que permita armazenagem temporária limitado, pode ser mais apropriada. Entretanto, quando a espera pela consolidação se torna frequente, os prazos são curtos, a ocupação dos veículos permanece baixa ou os custos de remessas parciais superam os benefícios esperados, a utilização do *cross-docking* deve ser reavaliada. Assim, o modelo não pressupõe que essa estratégia seja sempre superior, mas auxilia na identificação das condições em que sua adoção é operacional e economicamente justificável.

5. Conclusões.

O objetivo deste trabalho foi propor um modelo conceitual de apoio à decisão para a adoção do *cross-docking* em cadeias de suprimentos com demanda variável. Através do mapeamento científico,

que combinou técnicas de bibliometria descritiva, foi possível identificar e analisar a evolução da pesquisa, principais temas e tendências, além dos agentes envolvidos na produção intelectual. Em sequência, foi realizada a revisão sistemática da literatura, onde ocorreu uma nova coleta e análise de dados que possibilitou identificar os modelos mais utilizados para representar o processo de decisão em diferentes contextos operacionais de estratégias de *cross-docking*. Os resultados permitiram observar um crescimento da produção científica anual da intersecção de GCS e *cross-docking*, porém evidenciou lacunas, principalmente em modelos amplos e adaptáveis para a aplicação da estratégia em diferentes cenários operacionais, especialmente em empresas de menor porte. Diante dessa lacuna, a proposta de modelo teve como objetivo facilitar a aplicação da estratégia de *cross-docking* em empresas que não possuem demanda fixa.

Em razão da natureza conceitual do estudo, suas contribuições práticas e ambientais devem ser interpretadas como implicações potenciais. O modelo pode auxiliar gestores a estruturar a avaliação da adoção do *cross-docking*, identificando variáveis relacionadas à consolidação de cargas, aos prazos, à ocupação dos veículos, aos custos e ao nível de serviço. Potencialmente, essas decisões podem contribuir para os ODS 9 e 12, por favorecerem a inovação nos processos logísticos, a eficiência operacional e a redução de estoques e movimentações desnecessárias. Também pode existir uma contribuição indireta para o ODS 13, caso a consolidação resulte na redução de viagens, consumo de combustível e emissões. Entretanto, esses efeitos não foram mensurados empiricamente e, portanto, não constituem resultados comprovados desta pesquisa.

Entre as limitações do estudo, destaca-se que a coleta bibliométrica foi realizada apenas na base *Web of Science*, com uma *string* específica de busca e critérios definidos de idioma e tipo de documento, o que pode ter excluído estudos relevantes presentes em outras bases, como Scopus, *ScienceDirect* ou Google Scholar. Além disso, a revisão sistemática concentrou-se em artigos recentes e em modelos relacionados ao *cross-docking*, o que limita a abrangência temporal e metodológica da análise. Outra limitação importante é que o modelo proposto ainda não foi validado empiricamente por meio de aplicação em empresas reais, simulação computacional ou comparação com indicadores operacionais, como custo logístico, tempo de ciclo, ocupação de veículos, nível de serviço e emissões de carbono. Portanto, as contribuições práticas e ambientais apresentadas devem ser entendidas como potenciais, e não como resultados comprovados.

Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se validar o modelo em diferentes contextos empresariais, especialmente em empresas com demanda variável, operações de varejo, distribuição regional ou transporte fracionado. Também se recomenda a aplicação de simulações, estudos de caso ou modelagem quantitativa para avaliar o desempenho do modelo em termos de custos, lead time, nível de serviço, ocupação dos veículos e impactos ambientais. Futuras pesquisas também podem aprofundar a relação entre *cross-docking* e sustentabilidade, incorporando indicadores associados aos ODS 9, 12 e 13, de modo a verificar se a adoção da estratégia contribui efetivamente para operações logísticas mais eficientes, responsáveis e ambientalmente sustentáveis.

Referências.

AGUSTINA, D.; LEE, C. K. M.; PIPLANI, R. *Vehicle scheduling and routing at a cross-docking center for food supply chains*. **International Journal of Production Economics**, v. 152, p. 29–41, jun. 2014.

ALTAF, Amna; EL AMRAOUI, Adnen; DELMOTTE, François; LECOUTRE, Christophe. *Robust cross-dock assignment problem with uncertain cost parameters*. **International Journal of Production Research**, v. 63, n. 16, p. 6108-6133, 2025.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. *bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis*. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.

ASGHARYAR, Mostafa; FARMAND, Nima; SHETAB-BOUSHEHRI, Seyyed Nader. *A novel mathematical modeling approach for integrating a periodic vehicle routing problem and cross-docking system*. **Computers & Operations Research**, v. 180, art. 107048, 2025.

BALLOU, R. H. A evolução e o futuro da logística e do gerenciamento da cadeia de suprimentos. **Produção**, v. 16, n. 3, p. 375-386, set./dez. 2006.

BENRQYA, Y. Costs and benefits of using cross-docking in the retail supply chain. **International Journal of Retail & Distribution Management**, v. 47, n. 4, p. 412–432, 8 abr. 2019.

BRIZOLA, J.; FANTIN, N. Revisão da Literatura e Revisão Sistemática da Literatura. **Revista de Educação do Vale do Arinos - RELVA**, v. 3, n. 2, 2016.

BUIJS, P.; VIS, I. F. A.; CARLO, H. J. *Synchronization in cross-docking networks: A research classification and framework*. **European Journal of Operational Research**, v. 239, n. 3, p. 593–608, 2014.

CHIANG, C.-T.; KOU, T.-C.; KOO, T.-L. A Systematic Literature Review of the IT-based Supply Chain Management System: Towards a Sustainable Supply Chain Management Model. **Sustainability**, v. 13, n. 5, p. 2547, 26 fev. 2021.

CHRISTOPHER, M. **Logistics and Supply Chain Management**. 5. ed. Harlow: Pearson Education, 2016.

COBO, Manuel J. et al. *Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools*. **Journal of the American Society for information Science and Technology**, v. 62, n. 7, p. 1382-1402, 2011.

DENISE, L. et al. Modelagem de equações estruturais em epidemiologia. **Cadernos de saúde pública**. v. 26, n. 12, p. 2251–2262, 2010.

DULEBENETS, M. A. A Delayed Start Parallel Evolutionary Algorithm for just-in-time truck scheduling at a cross-docking facility. **International Journal of Production Economics**, v. 212, p. 236–258, jun. 2019.

HASANI GOODARZI, A. et al. *Reliable cross-docking location problem under the risk of disruptions*. **Operational Research**, 6 jul. 2020.

HENNINGER, A.; MASHATAN, A. Distributed Interoperable Records: The Key to Better Supply Chain Management. **Computers**, v. 10, n. 7, p. 89, 19 jul. 2021.

KURT, Atil; GUMUS, Mehmet. *Dynamic Freight Planning with Hybrid Cross-Docking under Carbon Tax and Bounded Storage Age*. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2679, n. 6, p. 450-470, 2025.

LIAO, C.-J.; LIN, Y.; SHIH, S. C. *Vehicle routing with cross-docking in the supply chain*. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 10, p. 6868–6873, out. 2010.

LIS, A.; SUDOLSKA, A.; TOMANEK, M. *Mapping Research on Sustainable Supply-Chain Management*. **Sustainability**, v. 12, n. 10, p. 3987, 13 maio 2020.

MORANDI, Maria Isabel W. Motta; CAMARGO, Luis F. Riehs. Revisão sistemática da literatura. In: DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel P.; ANTUNES JR, José A. Valle. **Design sciencie research: método e pesquisa para avanço da ciência e da tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

NOH, Younghoo; LEE, Seokchan; HONG, Jeongyoon; CHO, Sung Won. *Inbound Truck Scheduling for Workload Balancing in Cross-Docking Terminals*. **Mathematics**, v. 13, n. 15, art. 2533, 2025.

OLUWASEYI, J. A.; ONIFADE, M. K.; ODEYINKA, O. F. *Evaluation of the Role of Inventory Management in Logistics Chain of an Organisation. LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics*, v. 8, n. 2, p. 1–11, 1 nov. 2017.

ORENSTEIN, P.; LADIK, D.; RAINFORD, S. *What are the Key Drivers of Future Supply Chains? Journal of Accounting, Business and Management (JABM)*, v. 23, n. 1, p. 31–40, 2 abr. 2016.

RAFIE-MAJD, Z.; PASANDIDEH, S. H. R. *Solving a Supply Chain Problem Including VMI and Cross-Docking Approaches, with Genetic Algorithm. Journal of Advanced Manufacturing Systems*, v. 18, n. 02, p. 311–324, 15 maio 2019.

REZAEI, S.; KHEIRKHAH, A. *A comprehensive approach in designing a sustainable closed-loop supply chain network using cross-docking operations. Computational and Mathematical Organization Theory*, v. 24, n. 1, p. 51–98, 25 mar. 2017.

SINGH, D.; VERMA, A. *Inventory Management in Supply Chain. Materials Today: Proceedings*, v. 5, n. 2, p. 3867–3872, 2018.

SHI, W. et al. *Multi-criteria robust design of a JIT-based cross-docking distribution center for an auto parts supply chain. European Journal of Operational Research*, v. 229, n. 3, p. 695–706, set. 2013.

SHI, W. et al. *Optimal design of the auto parts supply chain for JIT operations: Sequential bifurcation factor screening and multi-response surface methodology. European Journal of Operational Research*, v. 236, n. 2, p. 664–676, jul. 2014.

SUH, E. S. *Cross-docking assessment and optimization using multi-agent co-simulation: a case study. Flexible Services and Manufacturing Journal*, v. 27, n. 1, p. 115–133, 17 ago. 2014.

TAJ, Soonh et al. *IoT-based supply chain management: A systematic literature review. Internet of Things*, v. 24, p. 100982, 2023.

ULLMAN, J. B.; BENTLER, P. M. *Structural Equation Modeling. Handbook of Psychology, Second Edition*, v. 2, n. 1, 26 set. 2012.

VAN BELLE, J.; VALCKENAERS, P.; CATTRYSSSE, D. *Cross-docking: State of the art. Omega*, v. 40, n. 6, p. 827–846, dez. 2012.

VAN ECK, Nees; WALTMAN, Ludo. *Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics*, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.

VIEIRA, Helio Flavio. *Gestão de estoques e operações industriais*. Curitiba, PR: IESDE, 2009 316

VITASEK, K. *SCM definitions and glossary of terms*. [S. l.]: Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), ago. 2013. Disponível em: https://cscmp.org/CSCMP/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx. Acesso em: 17 ago. 2026.

WEN, M. et al. *Vehicle routing with cross-docking. Journal of the Operational Research Society*, v. 60, n. 12, p. 1708–1718, 1 dez. 2009.

YADAV, Sachin; SINGH, Surya Prakash. *Blockchain critical success factors for sustainable supply chain. Resources, Conservation and Recycling*, v. 152, p. 104505, 2020.

ZENG, L. et al. *A comprehensive interdisciplinary review of mine supply chain management. Resources Policy*, v. 74, p. 102274, dez. 2021.

ZUPIC, Ivan; ATER, Tomaž. *Bibliometric methods in management and organization*. **Organizational research methods**, v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015.