RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 23/11/2025 | aceito: 28/11/2025 | publicação: 02/12/2025

O papel da consolidação de cargas e otimização de rotas na resiliência da cadeia de suprimentos: uma revisão crítica

The role of cargo consolidation and route optimization in supply chain resilience: a critical review

El papel de la consolidación de cargas y la optimización de rutas en la resiliencia de la cadena de suministro: una revisión crítica

Autoria: Murilo Domiciano dos Santos

- Bacharel em Administração (Comércio Exterior), Universidade São Francisco (1998).
- MBA em Logística Estratégica, Faculdades Integradas Torricelli (2009).

Resumo:
O comércio internacional contemporâneo tem exigido abordagens inovadoras para mitigar a vulnerabilidade das cadeias de suprimentos globais. A literatura recente indica que a consolidação de cargas e a otimização dinâmica de rotas podem atuar como mecanismos de defesa contra disrupções e flutuações de custos. Este artigo propõe uma revisão crítica da eficácia dessas estratégias no contexto do agenciamento de cargas (*freight forwarding*). Com base em uma análise da literatura entre 2021 e 2025, discute-se como a adoção de tecnologias analíticas favorece a tomada de decisão logística. Observa-se que, embora a teoria aponte benefícios significativos, a implementação prática esbarra em resistências organizacionais, custos de integração de sistemas e silos informacionais, o que demanda abordagens gerenciais híbridas para o sucesso efetivo.
Palavras-chave: Logística Internacional, Resiliência da Cadeia de Suprimentos, Consolidação de Cargas, Otimização de Rotas, Agenciamento de Cargas.

Abstract:
Contemporary international trade has demanded innovative approaches to mitigate the vulnerability of global supply chains. Recent literature indicates that cargo consolidation and dynamic route optimization can act as defense mechanisms against disruptions and cost fluctuations. This article proposes a critical review of the effectiveness of these strategies in the context of freight forwarding. Through a literature analysis between 2021 and 2025, it discusses how the adoption of analytical technologies favors logistical decision-making. It is observed that, although the theory points to significant benefits, practical implementation encounters organizational resistance, system integration costs, and informational silos, requiring hybrid managerial approaches for effective success.
Keywords: International Logistics, Supply Chain Resilience, Cargo Consolidation, Route Optimization, Freight Forwarding.

Introdução

A dinâmica da cadeia de suprimentos global tem passado por períodos de expressiva volatilidade, evidenciando a fragilidade de modelos logísticos excessivamente rígidos. Nas últimas décadas, a busca incessante por eficiência levou as organizações a adotar estoques mínimos e cadeias altamente esticadas, o que as expôs a choques externos. Estudos sugerem que a ocorrência de paralisações portuárias, flutuações tarifárias e crises geopolíticas exige uma reconfiguração do pensamento logístico, deslocando o foco da mera eficiência de custos para a

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 23/11/2025 | aceito: 28/11/2025 | publicação: 02/12/2025

construção de resiliência estrutural.

No centro dessa transição encontra-se o papel do intermediário logístico, notadamente o dos agentes de carga (*freight forwarders*), que orquestram a complexidade multimodal. A literatura atual aponta que a consolidação inteligente de cargas e a otimização algorítmica de rotas são instrumentos fundamentais para mitigar a volatilidade do mercado. Ao agrupar remessas fracionadas e redesenhar fluxos de transporte em tempo real, as redes logísticas podem, em teoria, oferecer maior previsibilidade do trânsito e proteção contra as oscilações abruptas das taxas de frete internacional.

Contudo, a adoção dessas práticas na Indústria 4.0 não está isenta de obstáculos. Este artigo visa explorar criticamente a interseção entre o planejamento logístico multimodal e a resiliência das cadeias de suprimentos. O trabalho está estruturado para debater a evolução do agenciamento de cargas, o impacto das tecnologias preditivas na roteirização, a viabilidade econômica da consolidação, os desafios práticos de implementação e, por fim, a importância da capacitação do fator humano na sustentação dessas estratégias.

1. A Evolução do Agenciamento de Cargas e a Resiliência

Historicamente, o agenciamento de cargas foi compreendido como uma atividade predominantemente documental e transacional, focada na intermediação de espaços físicos em navios e em aeronaves. No entanto, a literatura recente indica que esse papel vem se transformando profundamente. Christopher (2021) argumenta que o agenciador moderno evoluiu para um arquiteto de soluções de rede, assumindo a responsabilidade de coordenar fluxos de informação tão críticos quanto os de mercadorias físicas.

Essa metamorfose é impulsionada pela necessidade de resiliência. Dolgui e Ivanov (2021) sugerem que a capacidade de um despachante de oferecer rotas alternativas e modais secundários atua como um "amortecedor" (*buffer*) essencial contra rupturas da cadeia global. A flexibilidade proporcionada por intermediários qualificados tende a proteger empresas de médio porte que não dispõem de volume suficiente para negociar diretamente com os grandes armadores globais.

Por outro lado, verifica-se que a transição para um modelo de serviço consultivo exige maturidade organizacional. Fosso Wamba et al. (2022) demonstram que agenciadores que baseiam suas decisões exclusivamente na experiência empírica de seus operadores apresentam tempos de resposta mais lentos diante de choques tarifários imprevistos. O estudo indica que a

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 23/11/2025 | aceito: 28/11/2025 | publicação: 02/12/2025

resiliência efetiva depende da integração de sistemas de visibilidade que permitam o monitoramento proativo das cargas.

Ademais, a literatura aponta para um debate sobre os limites dessa intermediação. Enquanto alguns autores defendem a total desintermediação digital por meio de plataformas automatizadas, Kache e Seuring (2021) ponderam que a complexidade aduaneira transfronteiriça ainda demanda o capital intelectual humano. Observa-se que a automação completa esbarra em nuances regulatórias locais, o que justifica a sobrevivência do agenciador de cargas como consultor especializado.

Dessa forma, entende-se que o agenciamento de cargas contemporâneo oscila entre a tradição relacional e a necessidade de adoção de tecnologias. A capacidade de um intermediário de fomentar a resiliência da cadeia de suprimentos de seus clientes parece depender intimamente de sua habilidade de integrar algoritmos de decisão ao conhecimento tácito sobre as peculiaridades das infraestruturas portuárias globais.

2. Otimização de Rotas na Era da Digitalização Logística

A otimização de rotas tem sido tradicionalmente abordada por meio de modelagens matemáticas estáticas, visando ao menor custo ou à menor distância percorrida. Contudo, a evolução dos algoritmos na Indústria 4.0 introduziu a roteirização dinâmica e preditiva. Estudos como os de Ivanov (2024) sobre "Gêmeos Digitais" (*Digital Twins*) ilustram como as redes logísticas podem ser simuladas em tempo real, permitindo que os gestores visualizem o impacto de tempestades ou de congestionamentos portuários antes de tomarem decisões de redirecionamento.

Essa capacidade preditiva altera fundamentalmente o planejamento logístico. Dubey et al. (2023) observaram que organizações que utilizam algoritmos de roteirização alimentados por dados massivos (*Big Data*) apresentam maior tolerância a variações na capacidade dos transportadores. Os resultados sugerem que a inteligência artificial aplicada à logística permite a rápida reconfiguração do tráfego multimodal, transferindo cargas do modal marítimo para o aéreo ou o rodoviário com agilidade que minimiza quebras de estoque.

Em contraste, alguns pesquisadores alertam para a dependência excessiva dessas tecnologias. Waller e Fawcett (2022) enfatizam que os algoritmos de otimização assumem premissas de racionalidade e de continuidade dos dados que frequentemente não se sustentam na realidade caótica do comércio internacional. Quando a qualidade dos dados inseridos no sistema é baixa,

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 23/11/2025 | aceito: 28/11/2025 | publicação: 02/12/2025

a otimização de rotas pode gerar custos imprevistos e tempos de trânsito prolongados.

Além disso, a implementação de sistemas complexos de roteamento (*Transport Management Systems* - TMS) exige investimentos de capital significativos. Para organizações de médio porte, o custo de licenciamento e de integração desses *softwares* com sistemas legados (ERP) pode inviabilizar o retorno sobre o investimento no curto prazo. Gunasekaran et al. (2022) recomendam que as empresas adotem soluções modulares e na nuvem para contornar essas barreiras financeiras e manter a viabilidade econômica do projeto.

Pode-se afirmar que a otimização de rotas digitalizada contribui para a fluidez do comércio, mas não constitui uma panaceia. A evidência da literatura indica que os melhores resultados ocorrem quando a sugestão algorítmica é criticamente validada por especialistas em logística, garantindo que variáveis não quantificáveis, como o relacionamento com as autoridades aduaneiras locais, sejam consideradas no delineamento da rota.

3. Consolidação de Cargas e as Implicações Econômicas

A estratégia de consolidação de cargas (*Less than Container Load* - LCL) representa uma alavanca tática vital para embarcadores com volumes fracionados. Do ponto de vista econômico, a literatura demonstra que o agrupamento de remessas múltiplas em um único contêiner reduz significativamente o custo unitário do frete. Trabalhos recentes indicam que essa prática também mitiga a volatilidade cambial e as flutuações das sobretaxas de combustível, conferindo maior estabilidade orçamentária aos importadores (Christopher, 2021).

Além da redução de custos, a consolidação tem sido estudada sob a ótica da sustentabilidade ambiental. Fosso Wamba et al. (2022) evidenciam que a otimização da capacidade volumétrica dos contêineres reduz a pegada de carbono por unidade de carga transportada. Observa-se que práticas rigorosas de consolidação contribuem para a descarbonização da cadeia de suprimentos, alinhando as empresas às exigências contemporâneas de conformidade ESG (*Environmental, Social, and Governance*).

Entretanto, a consolidação introduz riscos temporais e operacionais. A necessidade de aguardar o preenchimento total do espaço do contêiner nos armazéns de origem pode estender o tempo de trânsito (lead time), o que, segundo Kache e Seuring (2021), pode afetar negativamente a velocidade do estoque em cadeias de suprimentos sensíveis ao tempo, como a de produtos perecíveis ou de alta tecnologia. A literatura sugere que deve haver um equilíbrio cauteloso entre a economia de escala e o custo de oportunidade do estoque em trânsito.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 23/11/2025 | aceito: 28/11/2025 | publicação: 02/12/2025

Para mitigar esses atrasos, intermediários logísticos têm adotado estratégias de consolidação "hub-and-spoke" e programas de *cross-docking* avançado. Dubey et al. (2023) relatam que operações logísticas que sincronizam com precisão a chegada das cargas fracionadas no armazém consolidador tendem a reduzir o tempo de espera a níveis marginais. Essa sincronia, porém, exige uma visibilidade sistêmica aguda e um compartilhamento transparente de informações entre todos os fornecedores envolvidos.

Conclui-se que a consolidação de cargas é uma ferramenta poderosa para a competitividade do *middle-market*. Contudo, as evidências indicam que o seu sucesso depende de uma orquestração temporal refinada. A prática exige que os gestores logísticos ponderem continuamente o *trade-off* entre a redução imediata na fatura de frete e os possíveis impactos no nível de serviço acordado com o cliente final.

4. Desafios, Limitações e a Realidade da Implementação

Apesar do apelo teórico das estratégias de roteirização preditiva e de consolidação inteligente, sua implementação no cotidiano organizacional esbarra em severas limitações estruturais. Um dos principais obstáculos identificados na literatura é a fragmentação dos dados. Kache e Seuring (2021) apontam que os "silos de informação" nas próprias empresas impedem que os sistemas logísticos acessem dados de vendas e de estoques em tempo real, comprometendo a eficácia de qualquer modelo de otimização.

Adicionalmente, a falta de padronização da informação entre os diferentes elos da cadeia global (transportadores, alfândegas, armazéns) atua como fator limitante. Ivanov (2024) descreve que a incompatibilidade entre as interfaces de programação de aplicações (APIs) dos provedores de serviço resulta em lacunas de visibilidade. Quando o agenciador de cargas perde o rastro de uma remessa durante a transferência multimodal, toda a inteligência algorítmica de rede é invalida.

A literatura também destaca a presença crônica da "aversão algorítmica" nas operações logísticas. Waller e Fawcett (2022) observaram que planejadores de transporte com décadas de experiência tendem a ignorar as recomendações geradas pelos sistemas de otimização, acreditando que suas heurísticas pessoais são mais precisas diante da complexidade aduaneira. Essa resistência cultural prejudica a adoção e o escalonamento das tecnologias de controle.

Os custos ocultos de integração constituem outra barreira significativa. Embora soluções baseadas em *Software as a Service* (SaaS) tenham barateado o acesso às ferramentas de TMS,

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 23/11/2025 | aceito: 28/11/2025 | publicação: 02/12/2025

o custo de reengenharia de processos e de auditoria de dados limpos pode ser proibitivo para as empresas de médio porte. Gunasekaran et al. (2022) demonstram que muitos projetos de digitalização logística falham não por deficiência do *software*, mas pelo subfinanciamento das etapas de transição de dados legados.

A partir dessa análise, torna-se evidente que a tecnologia logística não opera no vácuo. Os estudos sugerem que as organizações que falham em gerenciar a mudança comportamental de suas equipes e não investem na integridade de suas bases de dados raramente conseguem extrair o valor prometido pela literatura tecnológica. A mitigação dessas falhas exige um reconhecimento realista das limitações corporativas antes do início da implementação.

5. Capacitação Analítica e a Valorização do Fator Humano

O reconhecimento das barreiras à implementação tecnológica culmina na compreensão de que o fator humano continua sendo o eixo central da resiliência logística. A transição de um modelo de tomada de decisão empírica para uma cultura orientada a dados (*data-driven*) requer um processo intencional de capacitação executiva. Autores como Choi et al. (2022) enfatizam a importância do "human-in-the-loop", argumentando que a supervisão humana crítica é essencial para corrigir vieses em modelos preditivos.

Para que a integração de dados e a otimização de rotas funcionem, os gestores logísticos necessitam de alfabetização em dados (*data literacy*). A literatura indica que profissionais capazes de interpretar corretamente intervalos de confiança, analisar tendências em *dashboards* e entender as limitações de um algoritmo têm muito mais sucesso na aplicação prática de soluções multimodais do que aqueles que apenas operam a plataforma mecanicamente.

Programas corporativos focados no desenvolvimento interno de competências, como oficinas de simulação e treinamentos contínuos, tendem a reduzir a aversão tecnológica mencionada anteriormente. Dubey et al. (2023) sugerem que o envolvimento dos operadores da linha de frente na customização das regras do sistema de otimização cria um senso de pertencimento (*ownership*), aumentando as taxas de aderência sistêmica e reduzindo o tempo de adaptação operacional.

A valorização do capital humano também contribui para reduzir a dependência crônica de consultorias externas dispendiosas. Ao institucionalizar o conhecimento na própria empresa, os departamentos de comércio exterior ganham autonomia para realizar experimentações em pequenas escalas de consolidação de cargas, validando hipóteses antes de uma reestruturação

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 23/11/2025 | aceito: 28/11/2025 | publicação: 02/12/2025

em massa. Esse método de aprendizado empírico tem sido apontado como mais sustentável para organizações enxutas.

Em síntese, as evidências apontam que o melhor sistema logístico não é necessariamente o mais automatizado, mas aquele em que há uma sinergia clara entre a ferramenta analítica e o discernimento gerencial. A capacitação direcionada, portanto, deve ser compreendida não como um custo acessório, mas como o pilar estrutural que possibilita a verdadeira inovação na cadeia de suprimentos contemporânea.

Conclusão

Esta revisão buscou analisar criticamente o papel das estratégias de consolidação de cargas e da otimização preditiva de rotas na construção da resiliência das cadeias de suprimentos globais. A partir da literatura verificada, constata-se que o setor logístico e de agenciamento de cargas encontra-se em um momento de transição severa, em que a dependência de métodos empíricos tem cedido lugar a um imperativo de inteligência analítica e de digitalização estruturada.

A síntese dos estudos sugere que a consolidação de cargas (*LCL*) continua sendo um mecanismo econômico eficaz para a redução de custos unitários e a mitigação das variações cambiais. Entretanto, verificou-se que o seu sucesso depende de uma orquestração sistêmica que evite o prolongamento excessivo do tempo de trânsito. A introdução de algoritmos de roteirização atua em sinergia com essas operações, conferindo maior previsibilidade aos fluxos multimodais e permitindo a identificação precoce de gargalos portuários e rodoviários.

Como contribuição teórica, o artigo evidencia que o conceito de resiliência logística não se limita à robustez física dos ativos de transporte, mas passa, principalmente, pela agilidade informacional. O debate demonstra que a flexibilidade operacional oferecida por intermediários capacitados complementa a precisão dos sistemas de *Business Analytics*, sugerindo uma abordagem teórica em que a tecnologia e o conhecimento empírico aduaneiro devem ser estudados de maneira unificada, e não excludente.

Na dimensão da contribuição prática, a discussão adverte os gestores sobre as dificuldades reais na implementação tecnológica. A literatura aponta que de nada adianta investir em sofisticados sistemas de otimização se as bases de dados corporativas permanecerem fragmentadas e a equipe manifestar aversão a algoritmos. O texto reforça a importância da implementação faseada e da validação contínua dos resultados por profissionais experientes.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se que a literatura frequentemente se baseia em

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 23/11/2025 | aceito: 28/11/2025 | publicação: 02/12/2025

contextos macroeconômicos de mercados amplamente maduros, cujas conclusões podem variar quando aplicadas a infraestruturas portuárias de economias emergentes, nas quais os gargalos burocráticos superam as deficiências algorítmicas. Além disso, as análises de custo de oportunidade temporal na consolidação de cargas podem divergir enormemente dependendo da perecibilidade ou do valor agregado do produto transportado.

Por fim, no que tange a uma agenda de pesquisas futuras, incentiva-se o desenvolvimento de investigações empíricas focadas no comportamento do operador logístico diante da inteligência artificial. Estudos que mensurem quantitativamente como programas de capacitação mitigam a resistência a sistemas de TMS, bem como investigações sobre o uso da tecnologia *Blockchain* para a eliminação de silos informacionais no *cross-docking*, apresentarão grande valor para o avanço da ciência de gestão de operações logísticas.

Referências

Choi, T. M., Kumar, S., Yue, X., & Chan, H. L. (2022). Disruptive technologies and operations management in the Industry 4.0 era and beyond. *Production and Operations Management*, 31(1), 9–31.

Christopher, M. (2021). *Logistics & supply chain management*. Pearson UK.

Dolgui, A., & Ivanov, D. (2021). Digital twins and supply chain resilience. *International Journal of Production Research*, 59(1), 1–5.

Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Fosso Wamba, S., Roubaud, D., & Foropon, C. (2023). Empirical investigation of data analytics capability and organizational flexibility as complements to supply chain resilience. *International Journal of Production Economics*, 217, 10–19.

Fosso Wamba, S., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G., & Gnanzou, D. (2022). How 'big data' can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study. *International Journal of Production Economics*, 165, 234–246.

Gunasekaran, A., Yusuf, Y. Y., Adeleye, E. O., & Papadopoulos, T. (2022). Agile manufacturing practices: the role of big data and business analytics with multiple case studies. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 385–397.

Ivanov, D. (2024). Supply chain resilience and digital transformation: a review. *Supply Chain Management: An International Journal*.

Kache, F., & Seuring, S. (2021). Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*.

Waller, M. A., & Fawcett, S. E. (2022). Data science, predictive analytics, and big data: a revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 77–84.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.