



ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE A INTEGRAÇÃO DA LOGÍSTICA DE ÚLTIMA MILHA COM A INDÚSTRIA 4.0

Bibliometric analysis on the integration of Last-Mile Logistics with Industry 4.0

Análisis bibliométrico sobre la integración de la Logística de Última Milla con la Industria 4.0

Kévila Camilla Santos de Oliveira¹, **Dalton Matsuo Tavares**², & **Stella Jacyszyn Bachega**^{3*}

^{1,3} Universidade Federal de Catalão/Faculdade de Engenharia, ² Universidade Federal de Catalão/Instituto de Biotecnologia
¹kevila.camilla@discente.ufcat.edu.br ²dalton_tavares@ufcat.edu.br ^{3*}stella@ufcat.edu.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 31.10. 2025

Disponibilizado: 23.05.2026

PALAVRAS-CHAVE: Logística de Última Milha; Indústria 4.0; Análise bibliométrica; VOSviewer.

KEYWORDS: Last-Mile logistics; Industry 4.0; Bibliometric analysis; VOSviewer.

PALABRAS CLAVE: Logística de Última Milla; Industria 4.0; Análisis bibliométrico; VOSviewer.

*Autor Correspondente: Bachega, S. J.

RESUMO

A Logística de Última Milha (LUM) consiste na etapa final de um serviço *Business to Consumer* (B2C), transportando as mercadorias para os clientes almejados. Alguns desafios do processo logístico podem ser superados com o uso de ferramentas e tecnologias da Indústria 4.0. Este artigo tem como objetivo identificar, via análise bibliométrica, a produção científica que vincula a LUM e a Indústria 4.0 no período de 2021 a 2025, verificando os autores, as redes de colaboração e tendências de temas de pesquisa emergentes. Para tanto, foi empregada a explicação científica hipotético-dedutiva, a abordagem de pesquisa mista qualitativa e quantitativa e o procedimento análise bibliométrica, com uso do software VOSviewer. A investigação utilizou a base de dados ScienceDirect. Foi verificado o padrão de publicação no horizonte de tempo analisado, utilizando técnicas de associação de termos e análise de cluster. Os resultados indicam que a maioria das pesquisas associadas à IoT, big data e veículos autônomos é dedicada à LUM. Isso sugere a importância dessa tecnologia em relação à otimização das entregas. Esta pesquisa apresenta o cenário científico e fornece subsídios para a proposição de modelos teórico-conceituais e soluções práticas na área de logística.

ABSTRACT

Last Mile Logistics (LML) represents the final stage of a Business to Consumer (B2C) service, delivering goods to the intended customers. Some challenges of the logistics process can be overcome using Industry 4.0 tools and technologies. This article aims to identify, through bibliometric analysis, the scientific production that links

INTRODUÇÃO

A Logística de Última Milha (LUM) corresponde à etapa final do serviço *Business to Consumer* (B2C), responsável pelo transporte das mercadorias até o cliente (Lim & Srari, 2018). O crescimento do comércio eletrônico intensificou desafios como agendamento, roteamento e custos elevados, ao mesmo tempo em que consumidores demandam maior flexibilidade e entregas rápidas (Özarik et al., 2021). Esse cenário, especialmente evidente no Sul e Leste da

LML and Industry 4.0 from 2021 to 2025, examining the authors, collaboration networks, and trends of emerging research themes. To this end, the hypothetico-deductive scientific method was applied, along with a mixed qualitative and quantitative research approach and the bibliometric analysis procedure using the VOSviewer software. The investigation used the ScienceDirect database. The publication pattern within the analyzed time horizon was examined using term co-occurrence techniques and cluster analysis. The results indicate that most research associated with IoT, big data, and autonomous vehicles is dedicated to LML. This suggests the importance of these technologies for optimizing deliveries. This study presents the scientific landscape and provides support for proposing theoretical-conceptual models and practical solutions in the logistics field.

RESUMEN

La Logística de Última Milla (LUM) consiste en la etapa final de un servicio Business to Consumer (B2C), transportando las mercancías a los clientes previstos. Algunos desafíos del proceso logístico pueden superarse mediante el uso de herramientas y tecnologías de la Industria 4.0. Este artículo tiene como objetivo identificar, a través de un análisis bibliométrico, la producción científica que vincula la LUM y la Industria 4.0 en el período de 2021 a 2025, verificando los autores, las redes de colaboración y las tendencias de temas de investigación emergentes. Para ello, se empleó la explicación científica hipotético-deductiva, un enfoque de investigación mixto cualitativo y cuantitativo, y el procedimiento de análisis bibliométrico utilizando el software VOSviewer. La investigación utilizó la base de datos ScienceDirect. Se verificó el patrón de publicación en el horizonte temporal analizado, empleando técnicas de asociación de términos y análisis de clústeres. Los resultados indican que la mayoría de las investigaciones asociadas al IoT, big data y vehículos autónomos se dedica a la LUM. Esto sugiere la importancia de estas tecnologías en la optimización de las entregas. Esta investigación presenta el panorama científico y proporciona elementos para la propuesta de modelos teórico-conceptuales y soluciones prácticas en el área de logística.

Europa, reforça a relevância da LUM, que pode representar até 75% do custo total da entrega (Gevaers et al., 2014). Projeções indicam que, até 2025, cerca de 20% das operações logísticas globais serão automatizadas, com tecnologias como Inteligência Artificial (*Artificial Intelligence - AI*), Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) e *big data* desempenhando papel central na eficiência do setor (World Economic Forum, 2020; Harrington & Smith, 2018).

A Indústria 4.0, por meio de soluções como veículos autônomos, *blockchain* e drones, apresenta potencial para transformar a LUM, tornando-a mais eficiente e sustentável (Hofman & Rüscher, 2017; Naclerio & De Giovanni, 2022). Nesse contexto, a análise bibliométrica configura-se como método eficaz para mapear tendências, identificar colaborações e lacunas de pesquisa, oferecendo uma compreensão sistemática da evolução do campo e de suas interconexões (Aria & Cuccurullo, 2017; Mukherjee et al., 2022; Kraus et al., 2024).

Este artigo tem como objetivo identificar, via análise bibliométrica, a produção científica que relaciona LUM e Indústria 4.0 entre janeiro de 2021 e julho de 2025, destacando autores, redes de colaboração e temas emergentes. Busca-se, assim, oferecer uma visão abrangente do estado da arte e fomentar o desenvolvimento de modelos conceituais e soluções práticas que contribuam para a evolução do setor. O trabalho está estruturado em quatro seções: metodologia, resultados, discussão crítica e considerações finais, que sintetizam os principais *insights*, limitações e perspectivas futuras.

LUM E INDÚSTRIA 4.0

A logística de distribuição busca transportar produtos até o cliente da forma mais eficiente possível, aproveitando a capacidade dos veículos e otimizando rotas (Elsokary et al., 2023). A etapa de última milha é considerada a mais custosa e demorada da cadeia de suprimentos, sendo um desafio constante sua otimização. Nesse sentido, o uso de pontos de coleta pode reduzir o tráfego de carga e os congestionamentos urbanos (Caspersen et al., 2023). A literatura também define a última milha como o transporte do centro de triagem até o destino final, podendo incluir modelos de entrega no mesmo dia (Kervenoael et al., 2020; Motavallian, 2019).

O advento da Indústria 4.0 desencadeou transformações profundas no mercado de trabalho global, impactando processos produtivos e exigindo novas competências profissionais, especialmente em engenharia. Essa revolução é marcada pela integração de sistemas ciberfísicos, IA, análise de *big data*, computação em nuvem, IoT e *blockchain*, estabelecendo ecossistemas digitais que demandam reconfiguração de práticas e perfis profissionais (Lima & Gomes, 2020).

A Indústria 4.0 busca desenvolver redes inteligentes que conectam máquinas e ativos, criando ambientes industriais flexíveis e adaptáveis à demanda por produtos personalizados. Essa abordagem envolve dispositivos inteligentes capazes de controlar e rastrear processos ao longo da cadeia produtiva em sistemas integrados (Hahn, 2016). Diversas definições são apresentadas na literatura, mas convergem na ideia de interconexão de tecnologias emergentes para aumentar a agilidade dos sistemas industriais e atender a mercados cada vez mais dinâmicos (Bouchard et al., 2022).

METODOLOGIA

A pesquisa seguiu a perspectiva hipotético-dedutiva, conforme Carvalho (2000), com formulação de proposições ao longo da análise bibliométrica. Adotou-se uma abordagem mista, qualitativa e quantitativa, segundo Bryman (1989) e Creswell (1994), visto que a análise bibliométrica reúne dimensões tanto quantitativas quanto qualitativas (Donthu et al., 2021; Öztürk et al., 2024).

Base de Dados e Estratégia de Busca

A investigação foi conduzida por meio de uma abordagem bibliométrica, seguindo as sugestões de Donthu et al. (2021), garantindo rigor, consistência metodológica e reprodutibilidade. A análise bibliométrica tornou-se um componente significativo do processo de mensuração da produção científica para diferentes objetos científicos (p. ex. artigos, autores, palavras-chave, periódicos, instituições e países). Tem sido utilizada para avaliar a evolução intelectual, social e conceitual de um campo de pesquisa com base nas relações entre esses objetos (Donthu et al., 2021). Seu objetivo principal é refletir, avaliar e compreender a literatura (ou parte dela) em um campo específico de pesquisa (Oztürk, 2021). Analisa como uma pesquisa publicada em um determinado campo ou periódico acadêmico é conduzida. Isso é feito observando o número de publicações por ano, os tópicos mais treinados, as universidades com mais publicações, os principais periódicos da área, os autores com mais artigos, o número de indicações e as palavras-chave (Pritchard 1969; Ellegaard & Wallin, 2015).

A coleta de dados foi realizada exclusivamente na base ScienceDirect, única disponível por acesso institucional na universidade sede da pesquisa que é compatível com o software VOSviewer, possibilitando a exportação dos dados em formato adequado à análise bibliométrica. Foram considerados apenas publicações em acesso aberto (*Open Access*). Essa pode ser considerada uma limitação metodológica, mas ainda assegura a análise de um conjunto representativo de artigos revisados por pares publicados em periódicos de relevância internacional (Tabela 1 e 2).

Tabela 1. Strings de busca foram construídas a partir de termos relacionados à LUM e à Indústria 4.0, combinados por operadores booleanos

ID	Estratégia de Busca	Artigos Encontrados	Após Filtros	Final
1	("last mile logistics" OR "last mile delivery") AND ("logistics 4.0" OR "industry 4.0 logistic")	32	27	27
2	("last mile logistics" OR "urban logistics") AND (IoT OR AI OR "big data" OR blockchain)	678	489	478
3	("last mile logistics" OR "last mile delivery") AND ("autonomous vehicles" OR drones)	1.475	1.161	1.098
4	("logistics 4.0" OR "industry 4.0 logistics") AND ("digital twin" OR "cyber-physical systems")	177	158	147

Fonte: Autores.

Tabela 2. A busca aplicada nos campos título, resumo e palavras-chave, considerando documentos publicados entre janeiro de 2021 e julho de 2025, com os critérios de inclusão/exclusão consolidados

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
Publicações com lançamento previsto para o período de 2021 a 2025	Capítulos de livros, editoriais, notas técnicas e comunicações curtas
Artigos de pesquisa (<i>research articles</i>) e artigos de revisão (<i>review articles</i>)	Estudos sem relação direta com logística urbana ou de última milha
Publicações em inglês e português	Trabalhos duplicados
Documentos disponíveis em acesso aberto (<i>Open Access</i>)	

Fonte: Autores.

Processo de Triagem

Conforme descrito na Seção 3.1, foram inicialmente identificados 2.362 registros na base ScienceDirect, a partir de quatro seqüências de busca (ID 1 a ID 4) que combinaram termos relacionados à Logística de Última Milha (LUM) e à Indústria 4.0, tais como “*last mile logistics*”, “*last mile delivery*”, “*urban logistics*”, “*industry 4.0 logistic*”, “*autonomous vehicles*”, “*drones*”, “*IoT*”, “*AI*”, “*big data*”, “*blockchain*”, “*digital twin*” e “*cyber-physical systems*”. Essa estratégia, fundamentada em Donthu et al. (2021) e Aria & Cuccurullo (2017), buscou capturar tanto abordagens tradicionais quanto emergentes, garantindo uma visão holística do campo.

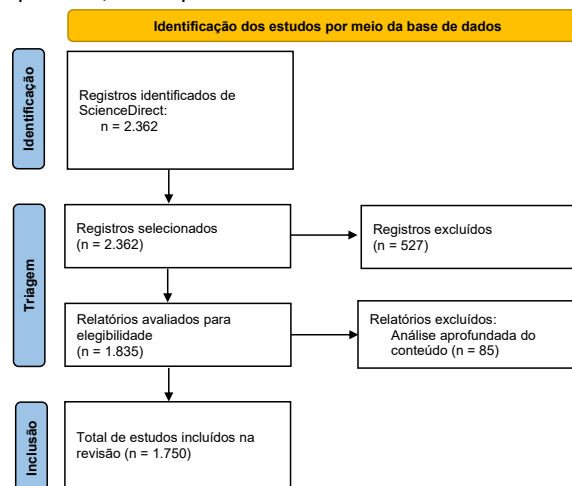
Na primeira etapa de filtragem, aplicaram-se restrições de período (2021–2025), idioma (inglês e português) e tipo de documento (apenas *research articles* e *review articles*). Com isso, 527 registros foram excluídos, por se tratar de capítulos de livros, editoriais, artigos de conferência ou notas técnicas, além de estudos sem relação direta com o tema.

Em seguida, os 1.835 artigos restantes foram submetidos à leitura de títulos e resumos. Nessa fase, foram eliminados trabalhos que, embora utilizassem termos como IoT, AI, *big data* ou *blockchain*, não apresentavam conexão explícita com *last mile logistics* ou *urban logistics*. Também foram descartados estudos voltados a áreas fora do escopo, como *waste management*, *agricultural supply chain* e *maritime navigation*.

Na avaliação em texto completo, 85 artigos adicionais foram excluídos por apresentarem duplicidade, inconsistências metodológicas ou por não atenderem integralmente aos critérios de elegibilidade.

Ao final do processo, 1.750 artigos foram incluídos na revisão e organizados para análise bibliométrica no software VOSviewer na versão 1.6.2 (Figura 1).

Figura 1. percurso de identificação, triagem e inclusão está sintetizado no fluxograma PRISMA-like, evidenciando, de forma transparente, as etapas de exclusão e número de estudos considerados em cada fase.



Fonte: Autores.

Tratamento e Análise dos Dados

Os registros finais foram exportados em formato compatível com o software VOSviewer, utilizado para a construção de mapas de coocorrência de palavras-chave, redes de coautoria e clusters temáticos.

RESULTADOS

A análise interpretativa percorreu três etapas significativas. A primeira foi dedicada ao reconhecimento e a rotulagem dos conceitos centrais derivados dos *clusters* bibliométricos, o que permitiu o mapeamento de termos como IoT, *logistics 4.0*, *digital twin* e *autonomous*

vehicles, conforme a Tab. (1). Em seguida, palavras-chave recorrentes foram extraídas e categorizadas, proporcionando a identificação de temas relacionados a tecnologias emergentes, aplicações práticas e métricas de desempenho. Por fim, uma integração conceitual foi realizada, o que levou à proposta de uma relação entre os componentes mais identificados. Essa relação destaca como a Indústria 4.0 se conectou com soluções de última milha para eficiência, sustentabilidade e inovação.

Leitura e Categorização

O mapeamento inicial foi seguido por uma leitura completa dos títulos e resumos dos estudos previamente selecionados. Esse procedimento incluiu uma avaliação qualitativa abrangente que buscou eliminar quaisquer duplicatas remanescentes e estudos que, apesar de inicialmente reconhecidos, não se enquadravam no escopo desta pesquisa. Nesse ponto, as investigações foram organizadas de acordo com os tópicos recorrentes documentados na literatura, incluindo o uso de tecnologia digital em logística urbana, métodos inteligentes de manutenção e métricas para operações de entrega de última milha. Exemplos incluem Hofmann e Rüsçh (2017) que estudaram os efeitos da digitalização e da automação na logística, e Naclerio e De Giovanni (2022), para os quais a Logística 4.0 incorpora o uso de tecnologias inteligentes, práticas de manutenção proativa e sistemas de avaliação de desempenho, visando otimizar processos e resultados ao longo da cadeia de suprimentos.

A classificação inicial facilitou a organização do corpus de análise, o que permitiu a identificação de tendências, lacunas e abordagens metodológicas encontradas, principalmente nos estudos examinados. A partir dos artigos extraídos, foi realizada uma leitura abrangente das palavras-chave, a fim de determinar sua associação com o tema central do estudo. Esse levantamento facilitou uma classificação rudimentar dos documentos por área temática e escopo tecnológico, auxiliando na organização dos dados no software.

Identificação de Conceitos e Nomeação

Os dados foram organizados e a análise bibliométrica via VOSviewer foi empregada para criar mapas de associação de termos, bem como mapas de associação de autores. Os clusters gerados facilitaram a visualização de conceitos de interesse, como IoT, *digital twin*, *big data*, *energy efficiency* e *last mile logistics*. Mapas de coocorrência de palavras-chave e mapas de clusters que focam no assunto, indicam a importância de um conceito para o campo de pesquisa. Por meio da análise da frequência com que as palavras-chave são usadas em conjunto com outras palavras, os conceitos mais comuns foram descobertos em cada combinação de assuntos. Os mapas gerados caracterizam clusters que ilustram as conexões entre tecnologias, aplicações e conceitos emergentes. Palavras como *last mile*, IoT, *autonomous delivery*, *logistics 4.0* e *ciber-physical systems* se destacaram, o que indica sua importância na discussão científica em andamento.

Desconstrução e Categorização

As ideias extraídas foram categorizadas e analisadas de acordo com sua contribuição para o campo de estudo. Essa classificação foi fundamental para a criação da estrutura conceitual. Análises semelhantes são empregadas para discutir conceitos relacionados. As ideias identificadas foram estudadas detalhadamente, considerando suas definições, usos e significado epistemológico dentro da pesquisa. Elas foram categorizadas em classes como: *Industry 4.0 technology*, *smart delivery methods*, *performance metrics*, e *environmentally sustainable effects*. Essa interpretação facilitou o estabelecimento de associações iniciais

entre os conceitos, que serviram de base para a estrutura proposta a ser investigada mais a fundo nas etapas seguintes da pesquisa.

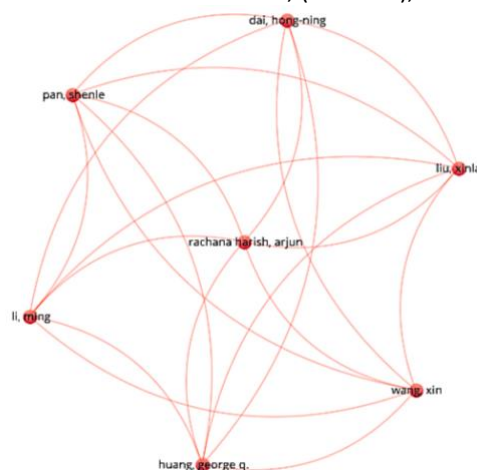
Integração Conceitual e Proposta de Relacionamento

Nesta fase, os conceitos previamente identificados e categorizados foram combinados para criar uma teoria abrangente e representativa das interações entre a LUM e a tecnologia da Indústria 4.0. O conceito de integração baseia-se em conexões lógicas e funcionais entre os componentes analisados. Isso permite a criação de uma narrativa que explica como essas novas tecnologias afetam e transformam os modelos logísticos tradicionais. A análise dos clusters de conteúdo obtidos a partir dos mapas coocorrentes no VOSviewer facilitou a identificação de padrões de associação entre conceitos, o que permitiu a organização das categorias em eixos estruturais: tecnologias facilitadoras, aplicações práticas, métricas de desempenho e impactos estratégicos.

O estudo bibliométrico enfatizou tecnologias emergentes, particularmente relacionadas a IoT, AI, *digital twins* e *smart sensors*. Associadas a conceitos como manutenção preventiva, automação industrial e monitoramento remoto, estes são os principais componentes da estrutura conceitual. Tendências como big data e sustentabilidade também aparecem regularmente. A consistência dos dados obtidos foi verificada por meio da avaliação dos resultados gerados pelas quatro combinações de pesquisas, conforme a Tab. (1), considerando a densidade e a qualidade dos clusters nos mapas do VOSviewer e comparando os conceitos identificados com revisões abrangentes da área. Os termos mais comumente usados estavam em concordância com os avanços tecnológicos documentados na literatura entre 2021 e 2025, o que aumentou a relevância do arcabouço conceitual.

A aplicação da combinação do ID 1 (Tabela 1), resultou na seleção de 27 artigos. A rede de coautoria, (Figura 2), exibe todos os nós, que representam os autores, na mesma cor (vermelha), evidenciando a existência de um único cluster identificado pelo software VOSviewer. Esse padrão revela um elevado grau de interconexão entre os integrantes do grupo, sugerindo uma colaboração intensa, sistemática e direcionada no tema ou base de dados analisada. A uniformidade no número de conexões, aliada ao fato de cada autor possuir apenas um documento registrado, indica baixa produtividade individual no recorte estudado e um foco de análise restrito. Além disso, a ausência de subgrupos ou ramificações temáticas dentro do cluster, também apontada pelo VOSviewer, reforça a existência de um objetivo comum entre os pesquisadores e a homogeneidade na abordagem adotada.

Figura 2. Mapa de coautoria referente ao ID 1, (Tabela 1), fornecido pelo VOSviewer



Fonte: Autores.

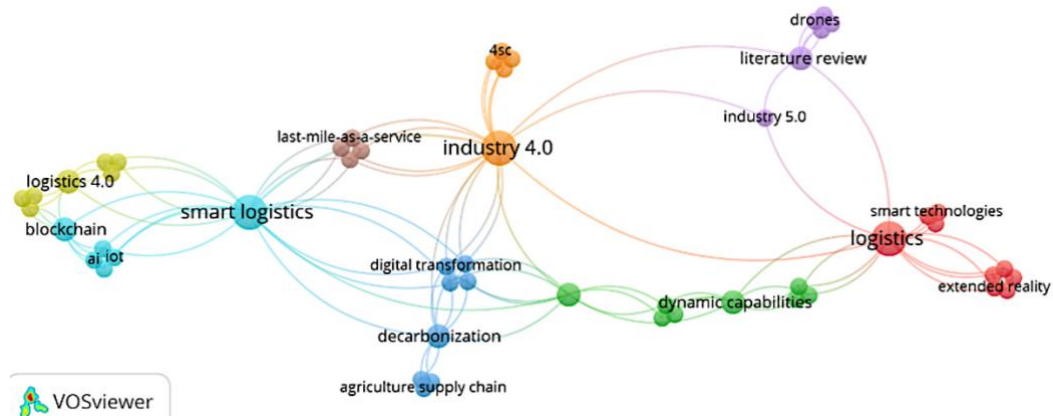
A análise de coocorrência de palavra-chave desenvolvida no VOSviewer, (Tabela 3 e Figura 3), permitiu identificar os principais eixos conceituais presentes na literatura relacionada a LUM e Indústria 4.0. O termo *industry 4.0* aparece como conceito central, conectado a diversos subtemas como *smart logistics*, *digital transformation* e *last-mile as a service*.

Tabela 3. Palavras-chave referentes ao ID 1, (Tabela 1), identificadas na análise do VOSviewer

Id	Keyword	Occurrences	Total link strength
33	<i>industry 4.0</i>	4	19
43	<i>logistics</i>	4	15
62	<i>smart logistics</i>	4	21
38	<i>internet-of-things (iot)</i>	3	14
79	<i>systematic review</i>	3	12

Fonte: Autores.

Figura 3. Mapa de palavras-chave referente ao ID 1, Tab. (1), obtido pelo VOSviewer



Fonte: Autores.

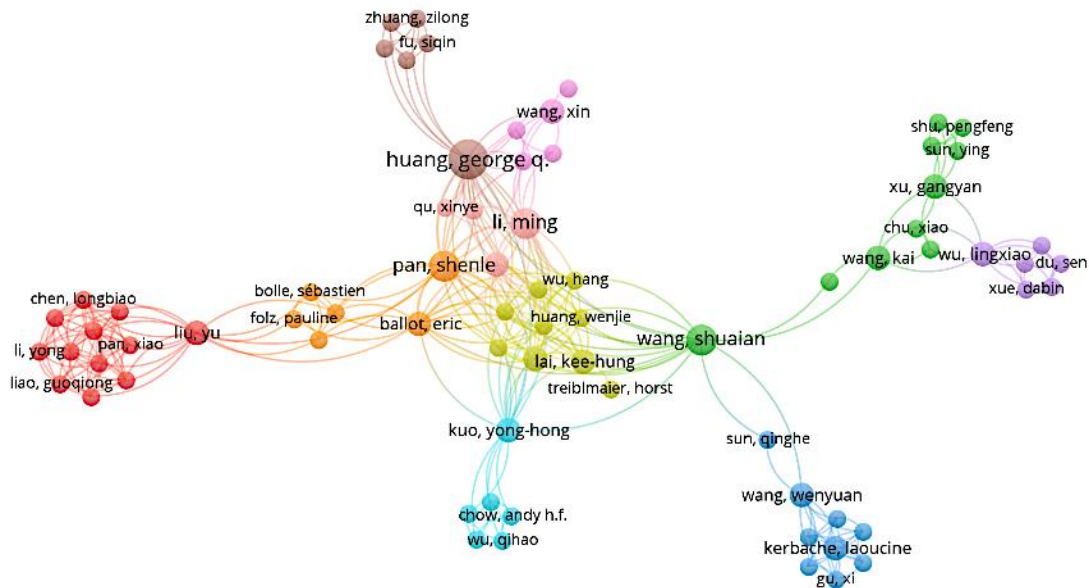
Destacam-se, ainda, clusters fortemente estruturados em torno de tecnologias digitais (como IoT e *blockchain*), práticas sustentáveis (*decarbonization*), e tecnologias emergentes (*drones* e *industry 5.0*). A rede evidencia que a integração entre tecnologias inteligentes e modelos logísticos inovadores é um eixo central da pesquisa atual, com forte potencial disruptivo para a última milha.

Em seguida, foram analisados 478 artigos relevantes, utilizando o termo de busca do ID 2, (Tabela 1). Entre os autores com maior força de ligação na rede (*total link strength*), destacam-se nomes como Huang, George Q., Li, Ming e Pan, Shenle. O autor Huang, George Q. aparece como o mais central na rede de colaboração, com 29 ligações totais, refletindo uma ampla atuação colaborativa e significativa influência no campo (Tabela 4). Isso confirma sua posição central na rede. Além de um volume consistente (5 documentos), seu ano médio de publicação (2023) é indicativo de atividade contemporânea, fato que está em linha com as tendências recentes da área. Pan, Shenle (26), Li, Ming (24) e Wang, Shuaian (18) também têm um papel significativo em colaborações internacionais, com produções recentes (2024) aumentando sua popularidade. O mesmo se aplica a Yu, Liu (17), Lai, Kee-Hung (15) e Ouyang, Zhiyuan (14), com dados de publicação de 2023-2024 sugerindo sua participação na discussão sobre Logística Urbana e Indústria 4.0.

Ballot, Eric (20) e Kuo, Yong-Hong (19) têm uma participação coletiva significativa. Suas conexões são fortes e estes publicaram juntos recentemente, o que aumenta a diversidade das redes identificadas. De modo geral, as informações indicam uma rede de autores descritos por alto grau de colaboração e uma produção contemporânea publicada principalmente nos anos de 2023 e 2025.

A análise de rede de coautoria, (Tabela 4 e Figura 4), realizada com o software VOSviewer, mostrou o maior grau de influência e conectividade para os autores da amostra. Foram verificados o número total de *links* (i.e., o número total de colaborações entre cada autor), o número de documentos identificados e o ano médio de publicação (indicador da importância da produção científica).

Figura 4. Mapa de coautoria referente ao ID 2, (Tabela 1) (VOSviewer)



Fonte: Autores.

Tabela 4. Principais autores por *cluster* quanto a força de ligação referente ao ID 2, (Tabela 1)

Autor	Clusters	Peso força total da ligação	Peso documentos	Pontuação ano médio de publicação
Huang, George Q.	8	29	5	2023.6
Pan, Shenle	7	26	3	2024.3333
Li, Ming	10	24	3	2024.6667
Ballot, Eric	7	20	2	2024
Kuo, Yong-Hong	6	19	2	2023.5
Wang, Shuaian	2	18	3	2024
Zhong, Ray Y.	10	18	2	2024.5
Liu, Yu	1	17	2	2024
Lai, Kee-Hung	4	15	2	2024.5
Huang, Wenjie	4	14	1	2025
Ouyang, Zhiyuan	4	14	2	2023.5
Shen, Zuo-Jun Max	4	14	1	2025
Wu, Hang	4	14	1	2025
Yu, Chenglin	4	14	1	2025
Zhang, Fangni	4	14	1	2025
Zhao, Zhiheng	4	14	1	2025
Chen, Longbiao	1	11	1	2025
Li, Yong	1	11	1	2025
Liao, Guoqiong	1	11	1	2025
Lin, Yuming	1	11	1	2025
Liu, Ke	1	11	1	2025
Meng, Xiaofeng	1	11	1	2025
Pan, Xiao	1	11	1	2025
Song, Xuan	1	11	1	2025
Wang, Senzhang	1	11	1	2025
Yang, Bin	1	11	1	2025
Yu, Ziqiang	1	11	1	2025

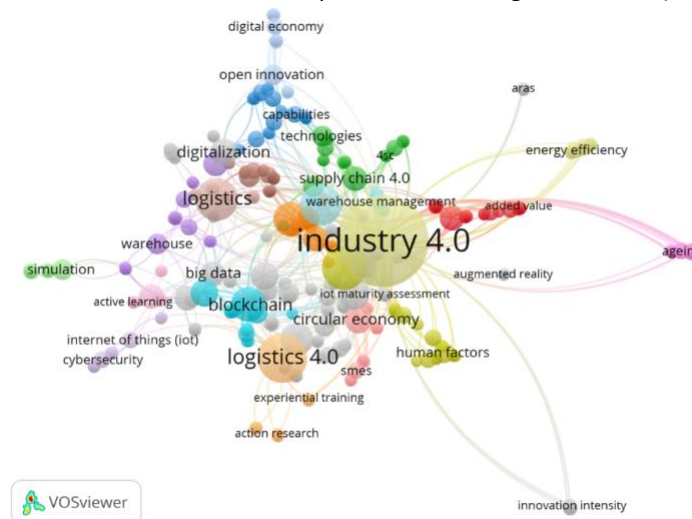
Fonte: Autores.

Tabela 6. Cluster formado por Wang, Shuaian; Laporte, Gilbert; Zhen, Lu e Wang, Yong

Autor	Cluster	Links	Força Total da Ligação	Documentos
Wang, Shuaian	21	29	37	9
Laporte, Gilbert	2	22	25	7
Wang, Yong	5	21	74	18
Zhen, Lu	2	24	40	12

Fonte: Autores.

A estratégia utilizando o termo de busca conforme o ID 4, (Tabela 1) resultou na identificação de 147 artigos. O mapa de coocorrência de termos presente na Figura 8 demonstra um tema central de interesse na Indústria 4.0. O mapa agrupa as palavras *logistics 4.0*, *digitalization*, *blockchain*, *supply chain 4.0*, *big data*, *simulation*, *warehouse management* e *circular economy*. Esses clusters demonstram uma forte associação entre sistemas digitais e físicos, a qual está impulsionando o desenvolvimento de tendências em importação, inteligência logística e tecnologia internacional. Especificamente, termos como: *digital twins*, *temporary vehicles* ou *last-mile delivery* não são observados no mapa devido a configuração do VOSviewer, que prioriza palavras-chave com maior frequência e maior conexão com o conceito. Isso implica que sua representação nesse cluster específico é menor, apesar de sua importância em outras investigações ou clusters.

Figura 8. Rede de coocorrência de palavras-chave segundo o ID 4, (Tabela 1)

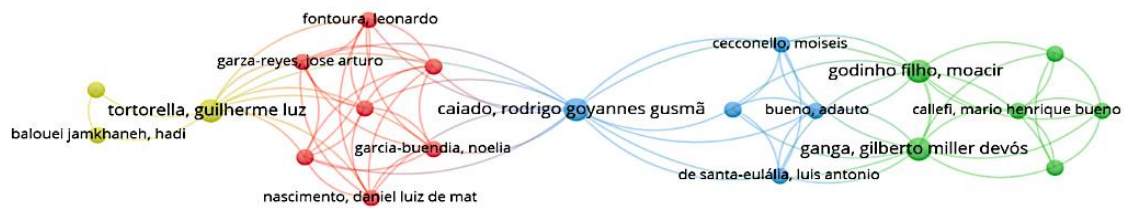
Fonte: Autores.

Além disso, a análise evidenciou que, enquanto algumas estratégias de busca concentram-se em tecnologias emergentes como IoT, AI e blockchain, como a pesquisa ID 2 da Tabela 1, outras abordagens destacam soluções aplicadas à LUM, como drones e autonomous vehicles, mostrado pela ID 3, Tabela 1. O mapeamento de clusters e de termos recorrentes demonstrou que tópicos como integração de dados, automação e novos modelos de entrega são temas transversais às estratégias analisadas.

A análise da rede de coautoria, (Figura 9), evidencia a existência de três clusters principais de colaboração científica. O autor Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado surge como o centro da rede, atuando como elo entre diferentes núcleos temáticos. O primeiro cluster (vermelho) é formado por pesquisadores fortemente conectados, como Fontoura, Garza-Reyes e Garcia-Buendia, enquanto o grupo azul reúne autores com foco em produtividade e métodos organizacionais. Por fim, o cluster verde concentra colaborações com ênfase em sistemas

produtivos e sustentabilidade. Essa configuração demonstra que, embora a produção acadêmica na área seja diversa, há articulações relevantes entre autores e temas, indicando um amadurecimento das pesquisas e uma consolidação dos temas emergentes.

Figura 9. Mapa de coautoria segundo o ID 4, Tabela 1



Fonte: Autores

Tabela 7. 20 autores identificados ligação na análise bibliométrica com maiores forças de ligação, segundo o ID 4, Tabela 1

ID	Autor	Documentos	Força de Ligação
192	kumar, anil	4	16
55	caiado, rodrigo goyannes gusmã	2	14
102	el jaouhari, asmae	3	11
122	ganga, gilberto miller devós	2	11
130	godinho filho, moacir	2	11
309	samadhiya, ashutosh	3	11
77	cimini, chiara	3	10
200	lagorio, alexandra	3	10
276	pinto, roberto	3	10
323	sgarbossa, fabio	4	10
364	tortorella, guilherme luz	2	10
216	luthra, sunil	2	9
115	fontoura, leonardo	1	8
124	garcia-buendia, noelia	1	8
127	garza-reyes, jose arturo	1	8
147	huang, george q.	2	8
208	lima, gilson britto alves	1	8
231	meiriño, marcelo jasmim	1	8
251	nascimento, daniel luiz de mattos	1	8
254	neto, julio vieira	1	8

Fonte: Autores.

Além da visualização em rede dos principais autores, (Figura 9, Tabela 7) mostra os 20 principais autores destacados por força de ligação. A força total de ligação é usada para determinar a centralidade e o grau de participação do autor na rede de colaboração. É um indicador considerado de influência e comunicação acadêmica, em detrimento do número de documentos publicados. Como resultado, autores com poucos documentos podem ter um forte vínculo com outros autores devido a sua participação em vários estudos colaborativos ou referenciados. Esses autores servem como elos importantes entre comunidades de pesquisa.

DISCUSSÃO

Os resultados da análise bibliométrica revelam padrões relevantes de associação entre tecnologias emergentes e práticas logísticas, sobretudo na última milha. Mais do que descrever os mapas gerados, é necessário interpretar os achados à luz das lacunas da literatura. Observa-se concentração de estudos em torno de IoT, *autonomous vehicles* e *big data*, mas escassez de pesquisas sobre integração dessas tecnologias com governança urbana, interoperabilidade entre plataformas e regulação de novas modalidades de entrega. Além disso, os impactos sociais e ambientais da digitalização da última milha permanecem pouco explorados, configurando oportunidade para futuras investigações.

A forte presença de termos como IoT e *big data* sugere potencial para aplicações em tempo real, como roteamento dinâmico, monitoramento de entregas e gestão preditiva. Contudo, faltam abordagens que articulem essas tecnologias à governança de dados, interoperabilidade entre sistemas logísticos e integração com plataformas urbanas inteligentes. A ausência de modelos que conectem dados em tempo real a decisões operacionais e políticas públicas constitui uma lacuna crítica.

A recorrência de *autonomous vehicles* e *drones* reforça o interesse por soluções automatizadas na última milha. Entretanto, poucos estudos discutem os desafios regulatórios dessas tecnologias, como licenciamento, segurança, privacidade e adaptação da infraestrutura urbana. A interoperabilidade entre veículos autônomos e sistemas logísticos convencionais também é pouco abordada, indicando campo fértil para pesquisas futuras, sobretudo quanto à integração técnica e normativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo bibliométrico identificou produções científicas que vinculam LUM e Indústria 4.0 entre janeiro de 2021 e julho de 2025. Os resultados apontam a consolidação de temas como IoT, *big data*, *blockchain*, *autonomous vehicles* e *digital twins*, considerados soluções para os principais desafios da LUM, como altos custos, ineficiências operacionais e necessidade de sustentabilidade.

As publicações concentram-se em periódicos de alto impacto e grupos de pesquisa internacionais, com destaque para autores como Huang, Pan e Li, evidenciando a formação de *clusters* científicos e a natureza global e interdisciplinar das discussões. Essa dinâmica mostra que a associação entre LUM e Indústria 4.0 integra um movimento mais amplo de digitalização e automação logística. Do ponto de vista conceitual, os *clusters* revelam duas motivações principais: (i) eficiência operacional e inovação tecnológica, com foco em soluções digitais, sensores inteligentes e entrega autônoma; e (ii) impacto social da LUM, relacionado à redução de emissões e adaptação da infraestrutura urbana. Essa dualidade indica que a Indústria 4.0 responde às demandas por velocidade e personalização, ao mesmo tempo em que atua como ferramenta estratégica para objetivos ambientais e sociais.

Entre as limitações, destacam-se o uso de uma única base de dados (ScienceDirect), a consideração apenas de documentos em acesso aberto e a janela temporal restrita (2021–2025), fatores que podem limitar a abrangência e generalização dos resultados. Ainda assim, a pesquisa oferece um mapeamento atualizado da integração entre LUM e Indústria 4.0, identificando tendências e oportunidades futuras. Recomenda-se que estudos subsequentes adotem modelos híbridos que combinem simulação e análise multidimensional, além de abordagens empíricas comparativas em diferentes contextos urbanos. Investigações que integrem dados em tempo real com modelos preditivos, análises multicritério e simulações operacionais podem gerar soluções mais robustas. Há também espaço para estudos interdisciplinares que articulem logística, ciência de dados, políticas públicas e regulação tecnológica, ampliando o impacto social e estratégico da pesquisa em LUM.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001, no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), da Faculdade de Engenharia (FENG), Universidade Federal de Catalão (UFCAT).

REFERÊNCIAS

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Bouchard, S., Abdalnour, G., & Gamache, S. (2022). Agility and Industry 4.0 implementation strategy in a Quebec manufacturing SME. *Sustainability*, 14(13), 7884. <https://doi.org/10.3390/su14137884>

Bryman, A. (1989). *Research methods and organization studies*. Londres: Uniwin Hyman.

Carvalho, M. C. M. (2000). *Construindo o saber*. 2a ed. Campinas: Papirus.

Caspersen, E., Jordbakke, G. N., & Knapskog, M. (2023). *Evaluation of a parcel locker pilot in the Oslo area*. Recuperado de https://www.toi.no/getfile.php/1374910-1677588385/Publicasjoner/T%C3%98%20rapporter/2023/1943-2023/1943-2023_Summary.pdf

Creswell, J. W. (1994). *Research design: Qualitative & quantitative approaches*. Sage.

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

Ellegaard, O., & Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics*, 105(3), 1809–1831. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>

Elsokkary, N., Otrók, H., Singh, S., Mizouni, R., Barada, H., & Omar, M. (2023). Crowdsourced last mile delivery: Collaborative workforce assignment. *Internet of Things*, 22, 100692. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100692>

Gevaers, R., Van de Voorde, E., & Vanelander, T. (2014). Cost modelling and simulation of last-mile characteristics in an innovative B2C supply chain environment with implications on urban areas and cities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 125, 398–411. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1483>

Hahn, A. (2016). Operational technology and information technology in industrial control systems. In E. Colbert & A. Kott (Eds.), *Cyber-security of SCADA and other industrial control systems* (Advances in Information Security, Vol. 66, pp. 51–68). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32125-7_4

Harrington, L., & Smith, R. H. (2018). *Digitalization and the supply chain: Where are we and what's next?* DHL Research brief. Recuperado de https://translogconnect.eu/uploaded/DHL_Digitalization.pdf?utm_source=chatgpt.com

Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>

Huang, G. Q., & Mak, K. L. (2012). *Internet applications in product design and manufacturing*. Springer Berlin Heidelberg. Recuperado de <https://books.google.com.br/books?id=76DwCAAQBAJ>

Kervenoael, R., et al. (2020). Same-day delivery models: Impacts and efficiency. *Journal of Retailing and Consumer Services*. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.102016>

Kraus, S., Bouncken, R. B., & Yela Aránega, A. (2024). The burgeoning role of literature review articles in

management research: An introduction and outlook. *Review of Managerial Science*, 18(2), 299–314. <https://doi.org/10.1007/s11846-024-00729-1>

Lim, S. F. W. T., & Srai, J. S. (2018). Examining the anatomy of last-mile distribution in e-commerce omnichannel retailing: A supply network configuration approach. *International Journal of Operations & Production Management*, 38(9), 1735–1764. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2016-0733>

Lima, F. R., & Gomes, R. (2020). Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0: Uma análise bibliométrica. *Revista Brasileira de Inovação*, 19, e0200023. <https://doi.org/10.20396/rbi.v19i0.8658766>

Motavallian, J. (2019). *Last mile delivery in the retail sector in an urban context* (Doctoral thesis, RMIT University). RMIT University Research Repository. https://research-repository.rmit.edu.au/articles/thesis/Last_mile_delivery_in_the_retail_sector_in_an_urban_context/27579324

Mukherjee, D., et al. (2022). Guidelines for advancing theory and practice through bibliometric research. *Journal of Business Research*, 148, 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.04.042>

Naclerio, A. G., & De Giovanni, P. (2022). Blockchain, logistics and omnichannel for last mile and performance. *The International Journal of Logistics Management*, 33(2), 663–686. <https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2021-0415>

Özarık, S. S., et al. (2021). Optimizing e-commerce last-mile vehicle routing and scheduling under uncertain customer presence. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 148, 102263. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102263>

Öztürk, O. (2021). Bibliometric review of resource dependence theory literature: An overview. *Management Review Quarterly*, 71(3), 525–552. <https://doi.org/10.1007/s11301-020-00192-8>

Öztürk, O., Kocaman, R., & Kanbach, D. K. (2024). How to design bibliometric research: An overview and a framework proposal. *Review of Managerial Science*, 18, 3333–3361. <https://doi.org/10.1007/s11846-024-00738-0>

Pritchard, A. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics? *Journal of Documentation*, 25(4), 348–349.

World Economic Forum. (2020). *The future of the last-mile ecosystem*. Recuperado de <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-the-last-mile-ecosystem/>

Zhang, Y., Jiang, P., Huang, G., Qu, T., Zhou, G., & Hong, J. (2012). *RFID-enabled real-time manufacturing information tracking infrastructure for extended enterprises*. *J Intell Manuf*, 23, 2357–2366. <https://doi.org/10.1007/s10845-010-0475-3>