



03 a 05 de dezembro de 2025

As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

Transformação Digital no Smart Supply Chain Management: Desafios, Barreiras e Estratégias para Resiliência e Sustentabilidade

Maria Elisa Ximarelli Fuglini

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. João Luiz Kovaleski

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Luis Mauricio Martins de Resende

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: Este estudo analisou a literatura recente sobre *Smart Supply Chain Management* em contexto de transformação digital, com ênfase nos desafios e barreiras que limitam a plena integração tecnológica. A pesquisa utilizou a metodologia multicritério *Methodi Ordinatio 2.0*, aplicada sobre a base Scopus, resultando em um portfólio de 108 artigos, dos quais dez, com maior relevância científica, foram selecionados para análise qualitativa. As análises bibliométricas foram conduzidas no *software* VOSviewer, complementadas por gráficos de evolução temporal e distribuição geográfica das publicações. Os resultados indicam que, embora tecnologias como *Blockchain*, Inteligência Artificial, Internet das coisas, Gêmeos Digitais e 5G sejam consideradas habilitadoras de cadeias de suprimentos inteligentes, sua adoção encontra barreiras críticas relacionadas à interoperabilidade, cibersegurança, governança dos dados, regulação e fatores socioculturais. A discussão qualitativa dos dez artigos de maior *InOrdinatio* evidenciou três dimensões centrais identificadas na literatura: a tecnológica, ligada às soluções digitais emergentes; a organizacional e institucional, que envolve confiança, regulação e alinhamento entre *stakeholders*; e a estratégica, voltada à resiliência, sustentabilidade e economia circular. O estudo contribui ao sistematizar os principais avanços e lacunas, fornecendo base tanto para a academia quanto para a gestão organizacional. De modo geral, os resultados indicam que a transformação digital do *Smart Supply Chain Management* exige não apenas a adoção de tecnologias, mas também processos integrados, modelos de governança adequados e estratégias de longo prazo orientadas à resiliência e sustentabilidade.

Palavras-chave: *Smart Supply Chain Management*; Transformação Digital; Desafios; Resiliência; Sustentabilidade.

Digital Transformation in Smart Supply Chain Management: Challenges, Barriers, and Strategies for Resilience and Sustainability

Abstract: This study analyzed recent literature on *Smart Supply Chain Management* in the context of digital transformation, with an emphasis on the challenges and barriers that limit full technological integration. The research used the multicriteria methodology *Methodi Ordinatio 2.0*, applied to the Scopus database, resulting in a portfolio of 108 articles, of which ten, with the greatest scientific relevance, were selected for qualitative analysis. Bibliometric analyses were conducted using

VOSviewer software, complemented by graphs showing the temporal evolution and geographic distribution of publications. The results indicate that, although technologies such as Blockchain, Artificial Intelligence, the Internet of Things, Digital Twins, and 5G are considered enablers of smart supply chains, their adoption faces critical barriers related to interoperability, cybersecurity, data governance, regulation, and sociocultural factors. The qualitative discussion of the ten articles with the highest InOrdinatio scores highlighted three central dimensions identified in the literature: the technological dimension, linked to emerging digital solutions; the organizational and institutional dimension, involving trust, regulation, and alignment among stakeholders; and the strategic dimension, focused on resilience, sustainability, and the circular economy. The study contributes by systematizing the main advances and gaps, providing a foundation for both academia and organizational management. Overall, the results indicate that the digital transformation of Smart Supply Chain Management requires not only the adoption of technologies but also integrated processes, appropriate governance models, and long-term strategies geared toward resilience and sustainability.

Keywords: Smart Supply Chain Management; Digital Transformation; Challenges; Resilience; Sustainability.

1. Introdução

A transformação digital promove mudanças significativas na forma como as organizações estruturam suas cadeias de suprimentos, impulsionando o conceito de *Smart Supply Chain Management* (SSCM). Esse modelo se caracteriza pela adoção intensiva de tecnologias emergentes, como *Blockchain*, Inteligência Artificial, Internet das coisas, Gêmeos Digitais e 5G, que possibilitam maior integração, visibilidade em tempo real e resiliência frente a disrupções globais (DOLGUI; IVANOV, 2022; IVANOV; DOLGUI, 2019; NEETHIRAJAN, 2023; SABERI *et al.*, 2019). Tais avanços se tornam ainda mais relevantes em um cenário marcado por instabilidades econômicas, crises sanitárias e riscos socioambientais, que desafiam a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Apesar do potencial das soluções digitais, a literatura mostra que a integração tecnológica nas cadeias de suprimentos enfrenta barreiras significativas, como interoperabilidade, governança de dados, cibersegurança e fatores regulatórios e socioculturais (RAY, 2023; SABERI *et al.*, 2019; THOMPSON; RUST, 2023; ZSCHEISCHLER *et al.*, 2022). Questões dessa natureza dificultam a plena implementação do *Smart Supply Chain Management*, limitando os ganhos de eficiência, rastreabilidade e sustentabilidade esperados.

Este estudo busca responder à seguinte problemática: Quais são os principais desafios enfrentados pelas organizações para integrar tecnologias digitais no *Smart Supply Chain Management*, e de que forma essas barreiras impactam a resiliência e a sustentabilidade das cadeias de suprimentos?

Portanto, o objetivo do trabalho é analisar a literatura recente sobre *Smart Supply Chain Management* em contexto de transformação digital, destacando os desafios, barreiras e riscos associados, bem como as estratégias que promovem resiliência e sustentabilidade nas cadeias de suprimentos.

Para atingir esse objetivo, o estudo adota a abordagem *Methodi Ordinatio 2.0*, aplicada sobre o portfólio bibliográfico da base Scopus. O processo resulta em 108 artigos relevantes, dos quais 10, com maior valor de InOrdinatio, são analisados qualitativamente. As análises bibliométricas são realizadas por meio do *software* VOSviewer, complementadas por gráficos elaborados em planilhas eletrônicas.

Esta pesquisa é relevante porque busca compreender os obstáculos e caminhos da transformação digital no *Smart Supply Chain Management*, contribuindo não apenas para o avanço teórico da área, mas também para a prática gerencial, ao oferecer base para a formulação de estratégias mais robustas, resilientes e sustentáveis.

O artigo está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, apresenta-se a descrição da metodologia (Seção 2), seguida da revisão da literatura (Seção 3). Na sequência, são discutidos os resultados da análise bibliométrica e qualitativa (Seção 4). Por fim, as considerações finais (Seção 5) sintetizam as principais conclusões e apresentam sugestões para pesquisas futuras.

2. Metodologia

Os procedimentos metodológicos deste estudo foram apresentados em duas subseções. A primeira (2.1) descreveu a revisão sistemática da literatura, conduzida segundo a Methodi Ordinatio 2.0, que resultou na seleção de um portfólio de artigos com comprovada relevância científica. Esse portfólio serviu de base para a subseção 2.2, na qual foram detalhadas a análise bibliométrica, realizada com o *software* VOSviewer, e a subsequente análise de conteúdo qualitativa aplicada aos artigos de maior pontuação.

2.1 Revisão sistemática de literatura

Visando explorar a temática da transformação digital no *Smart Supply Chain Management*, foi empregada a metodologia multicritério Methodi Ordinatio 2.0 (PAGANI *et al.*, 2023). As etapas foram desenvolvidas conforme descrito a seguir.

Etapas 1 e 2 – Busca exploratória

Realizou-se inicialmente uma pesquisa exploratória em diferentes bases para identificar palavras-chave pertinentes e avaliar combinações de termos.

Etapas 3 e 4 – Busca definitiva

Com base na exploração preliminar, foi definida a combinação de termos: *smart supply chain management AND digital transformation AND challenge OR barrier OR risk management OR resilience*. A consulta foi executada na base Scopus sem corte temporal, restrita a título, resumo e palavras-chave, e foram mantidos todos os tipos de trabalhos, resultando em 156 documentos.

Etapas 5 – Filtragem de artigos

Foram excluídos 13 registros duplicados, 21 capítulos de livro e 14 documentos sem autoria. Mantiveram-se 108 artigos cujos títulos, palavras-chave e resumos se mostraram alinhados ao tema. Desse conjunto, 108 artigos compuseram a análise bibliométrica, enquanto 10, com maior pontuação no InOrdinatio, foram selecionados para a análise qualitativa de conteúdo.

Etapas 6 e 7 – Coleta das variáveis e cálculo do InOrdinatio

Os dados necessários, como: ano da pesquisa (*Research Year* = 2025), ano de publicação (*Pub Year*), fator de impacto da revista (IF) e número de citações do artigo (*Ci*), foram inseridos na planilha da Methodi Ordinatio. Os parâmetros de ponderação (Δ , λ e Ω) foram fixados em 10, tendo em vista o caráter atual do tema.

$$\text{InOrdinatio 2.0} = \left\{ [\Delta * (IF)] - \left[\lambda * \left(\frac{\text{ResearchYear} - \text{PubYear}}{\text{CitedHalfLife}} \right) \right] + \Omega * \left[\frac{Ci}{(\text{ResearchYear} + 1) - \text{PubYear}} \right] \right\} \quad (1)$$

Etapas 8 e 9 – Download e leitura sistemática

Por fim, procedeu-se ao *download* dos 10 artigos de maior relevância e à leitura sistemática, aplicando-se a análise bibliométrica com o *software* VOSviewer (versão 1.6.20) e, posteriormente, a análise qualitativa de conteúdo, conforme descrito na subseção seguinte.

2.2 Análise bibliométrica e de conteúdo

A análise de coocorrência de palavras-chave foi realizada por meio do *software* VOSviewer, utilizando os 108 artigos selecionados na etapa final da revisão sistemática. Para a construção do mapa, definiu-se o mínimo de três ocorrências por termo (*Minimum number of occurrences of a keyword* = 3) e a seleção de 36 palavras-chave. Esses critérios resultaram em uma visualização com seis *clusters*, permitindo identificar agrupamentos temáticos relevantes da literatura analisada.

Posteriormente, foi conduzida a análise qualitativa de conteúdo dos 10 artigos com maior pontuação no InOrdinatio. A leitura sistemática buscou identificar tendências, desafios e contribuições científicas relacionadas ao tema. Para tanto, os artigos foram agrupados em categorias temáticas derivadas tanto dos *clusters* obtidos na análise bibliométrica quanto das evidências emergentes da leitura. Essa abordagem integrada possibilitou uma interpretação mais aprofundada da literatura, garantindo coerência entre os resultados quantitativos e qualitativos.

3. Referencial Teórico

O *Smart Supply Chain Management* (SSCM) pode ser entendido como a evolução da gestão da cadeia de suprimentos no contexto da Indústria 4.0, caracterizado pela adoção intensiva de tecnologias digitais que ampliam a integração, a rastreabilidade e a resiliência dos sistemas produtivos. Estudos apontam que a incorporação de soluções como *Blockchain*, Inteligência Artificial, Internet das coisas, Gêmeos Digitais, Web3 e 5G fortalece a visibilidade ponta a ponta, a tomada de decisão descentralizada e a confiança entre os *stakeholders* da cadeia (DOLGUI; IVANOV, 2022; NEETHIRAJAN, 2023; RAY, 2023).

Além dos avanços tecnológicos, o SSCM envolve dimensões institucionais e organizacionais, como governança, interoperabilidade, regulação e fatores socioculturais, que podem tanto viabilizar quanto restringir sua implementação (KHANFAR *et al.*, 2021; SABERI *et al.*, 2019; THOMPSON; RUST, 2023).

Nesse sentido, a literatura evidencia que a transformação digital das cadeias de suprimento vai além da adoção de ferramentas tecnológicas, exigindo novos modelos de negócios, políticas públicas adequadas e práticas de sustentabilidade, como a economia circular, para promover cadeias mais robustas, resilientes e sustentáveis (CHERRAFI *et al.*, 2022; MANTRAVADI *et al.*, 2023; ZSCHEISCHLER *et al.*, 2022).

3.1 Tecnologias habilitadoras na transformação digital

Diversos estudos apontam as tecnologias digitais emergentes como pilares do *Smart Supply Chain*. Dolgui e Ivanov (2022), destacam que a integração do 5G e da *Internet of Everything* (IoE) potencializa a visibilidade ponta a ponta e a flexibilidade operacional, permitindo ajustes dinâmicos e decisões ágeis em cenários de alta complexidade. De forma complementar, Neethirajan (2023), evidencia que Inteligência Artificial e sensores aumentam a capacidade de monitoramento em tempo real e a qualidade do fluxo de produtos, embora ainda enfrentem desafios relacionados à confiabilidade dos dados e à ética algorítmica.

No mesmo contexto, a revisão de Ray (2023), apresenta de forma estruturada o papel do Web3, dos contratos inteligentes e de arquiteturas *zero-trust*, ressaltando que tais ferramentas podem redesenhar modelos de negócio e fortalecer a descentralização das operações, ampliando a confiança em ecossistemas digitais.

3.2 *Blockchain*, rastreabilidade e sustentabilidade

Entre as tecnologias analisadas, o *Blockchain* destaca-se como essencial na discussão científica. Saberi *et al.* (2019), discutem sua aplicação no contexto de *Sustainable Supply Chain Management*, enfatizando o potencial para transparência, rastreabilidade e

governança de dados. Essa perspectiva é reforçada por Khanfar *et al.* (2021), cuja revisão sistemática demonstra que o *Blockchain* pode fortalecer práticas de manufatura sustentável, desde que acompanhado de interoperabilidade técnica e modelos de negócios viáveis.

Thompson e Rust (2023), destacam que a adoção do *Blockchain* vai além do aspecto tecnológico, pois barreiras sociais, culturais e institucionais podem limitar sua aplicação em cadeias de suprimento. O estudo sobre o setor de pescado exemplifica essa dificuldade, evidenciando que a confiança entre os envolvidos, acompanhada de regulação clara e incentivos adequados, é essencial para que a tecnologia seja efetiva.

3.3 Riscos, resiliência e Gêmeos Digitais

O tema da resiliência é recorrente na literatura, conforme Ivanov *et al.* (2019), que introduzem o conceito de *Digital Supply Chain Twin*, combinando simulação, otimização e *analytics* para antecipar disrupções, analisar o *ripple effect* e testar planos de contingência. A proposta reforça a importância de dados confiáveis, consistentes e disponíveis em tempo real como pré-condição para a *end-to-end visibility*.

Essa discussão conecta-se a preocupações com riscos e vulnerabilidades, especialmente em setores sensíveis como a agricultura. Zscheischler *et al.* (2022), evidenciam que a digitalização nesse setor, embora promissora, exige uma abordagem sócio-técnica que leve em conta a governança dos dados e a inclusão social, sob pena de ampliar desigualdades.

3.4 Economia circular e integração setorial

A transformação digital também encontra espaço no debate sobre sustentabilidade e economia circular. Cherrafi *et al.* (2022), destacam que ferramentas digitais, incluindo *Blockchain*, *Internet of Things* (IoT) e *analytics*, são habilitadores de práticas circulares, fortalecendo cadeias mais resilientes no cenário pós-COVID-19.

No campo da manufatura, destacam-se as aplicações práticas de *Manufacturing Execution Systems* (MES) e *Manufacturing Operations Management* (MOM), apresentadas por Mantravadi *et al.* (2023), como instrumentos para integrar operações de chão de fábrica às cadeias digitais, conectadas ao *Industrial Internet of Things* (IIoT), demonstrando ganhos em eficiência operacional, confiabilidade de dados e interoperabilidade.

O conjunto dos artigos analisados permite afirmar que o SSCM, se estrutura em três dimensões principais: a tecnológica, com destaque para *Blockchain*, Inteligência Artificial, Internet das coisas, 5G e Gêmeos Digitais; a institucional e organizacional, que abrange aspectos como governança, interoperabilidade, confiança e regulação; e a estratégica, na qual resiliência, sustentabilidade e economia circular se consolidam como objetivos centrais. Esta pesquisa reforça que a transformação digital das cadeias de suprimentos vai além da adoção isolada de tecnologias, demandando alinhamento entre *stakeholders*, formulação de novos modelos de negócio e apoio de políticas públicas adequadas.

4. Resultados e Discussão

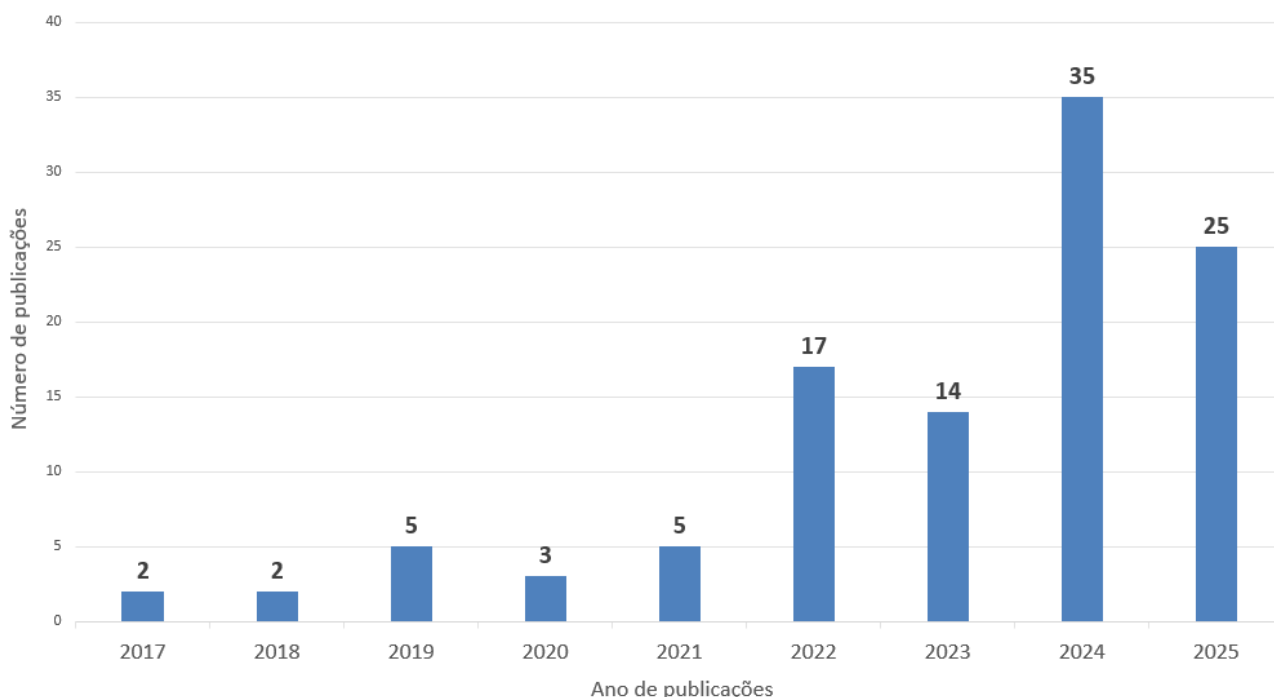
4.1 Análise bibliométrica

A análise bibliométrica foi realizada por meio da metodologia Methodi Ordinatio 2.0 (PAGANI *et al.*, 2023), a qual orientou a seleção e a organização do portfólio bibliográfico com base em critérios multicritério. Com o apoio de planilhas eletrônicas e do software VOSviewer, foram exploradas variáveis quantitativas relevantes da produção científica, incluindo a distribuição geográfica e a evolução temporal das publicações.

No período analisado, a produção científica sobre *Smart Supply Chain Management* em contexto de transformação digital apresentou variações significativas. A Figura 1 apresenta a evolução anual do número de publicações entre 2017 e 2025, evidenciando a

consolidação do tema como área de interesse crescente na pesquisa acadêmica nos últimos anos.

Figura 1 – Evolução anual do número de publicações (2017–2025)

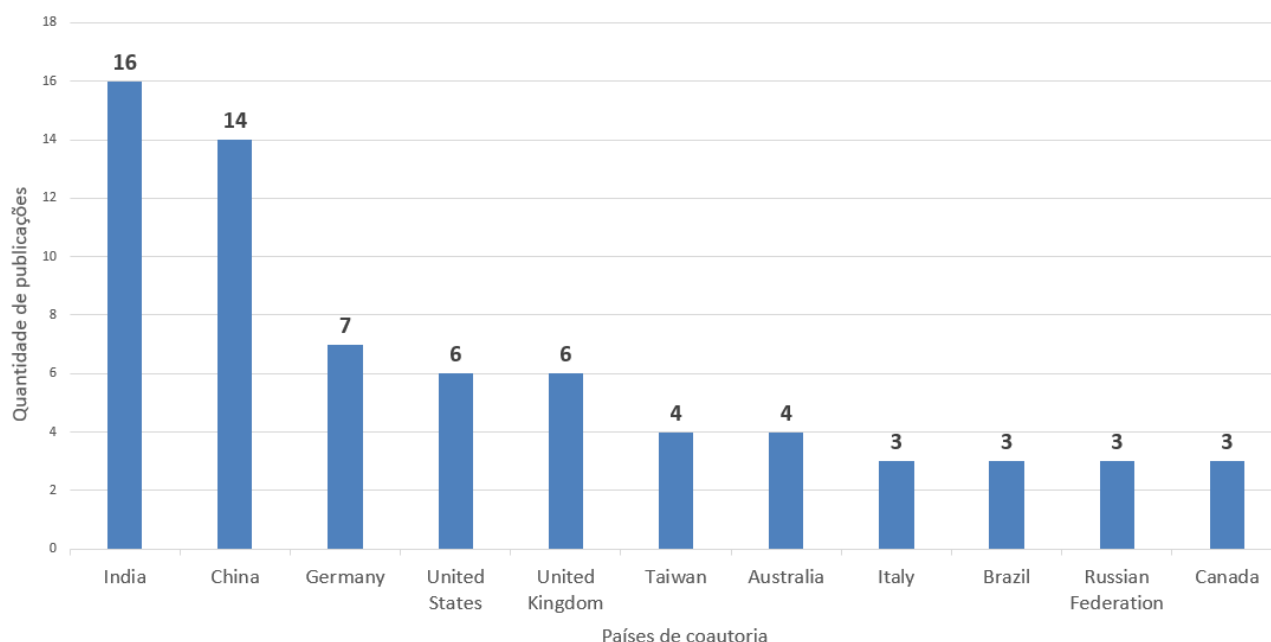


Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Constatou-se que, entre 2017 e 2020, as publicações foram pontuais, com números pouco expressivos, variando entre dois e cinco trabalhos por ano. Esse cenário inicial revela que, até então, a discussão sobre o tema era pouco desenvolvida e restrita a nichos específicos. Entretanto, a partir de 2021, observou-se um avanço, indicando maior mobilização da comunidade científica. O crescimento tornou-se mais consistente em 2022, com 17 artigos publicados, seguido por 14 em 2023 e, sobretudo, por 35 em 2024, ano em que se registrou o ápice da produção. Mesmo em 2025, que ainda se encontra em andamento, já foram contabilizados 25 trabalhos, sinalizando a continuidade da ascensão e o caráter emergente do tema. Esses resultados reforçam a atualidade da discussão, além de evidenciar a relevância da presente pesquisa ao inserir-se em uma agenda científica em franca expansão.

Além do recorte temporal, torna-se pertinente compreender os principais polos de produção científica. A Figura 2 apresenta a distribuição das publicações por país de coautoria, destacando aqueles que lideram as discussões sobre *Smart Supply Chain Management* em contexto de transformação digital.

Figura 2 – Distribuição de publicações por país de coautoria



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

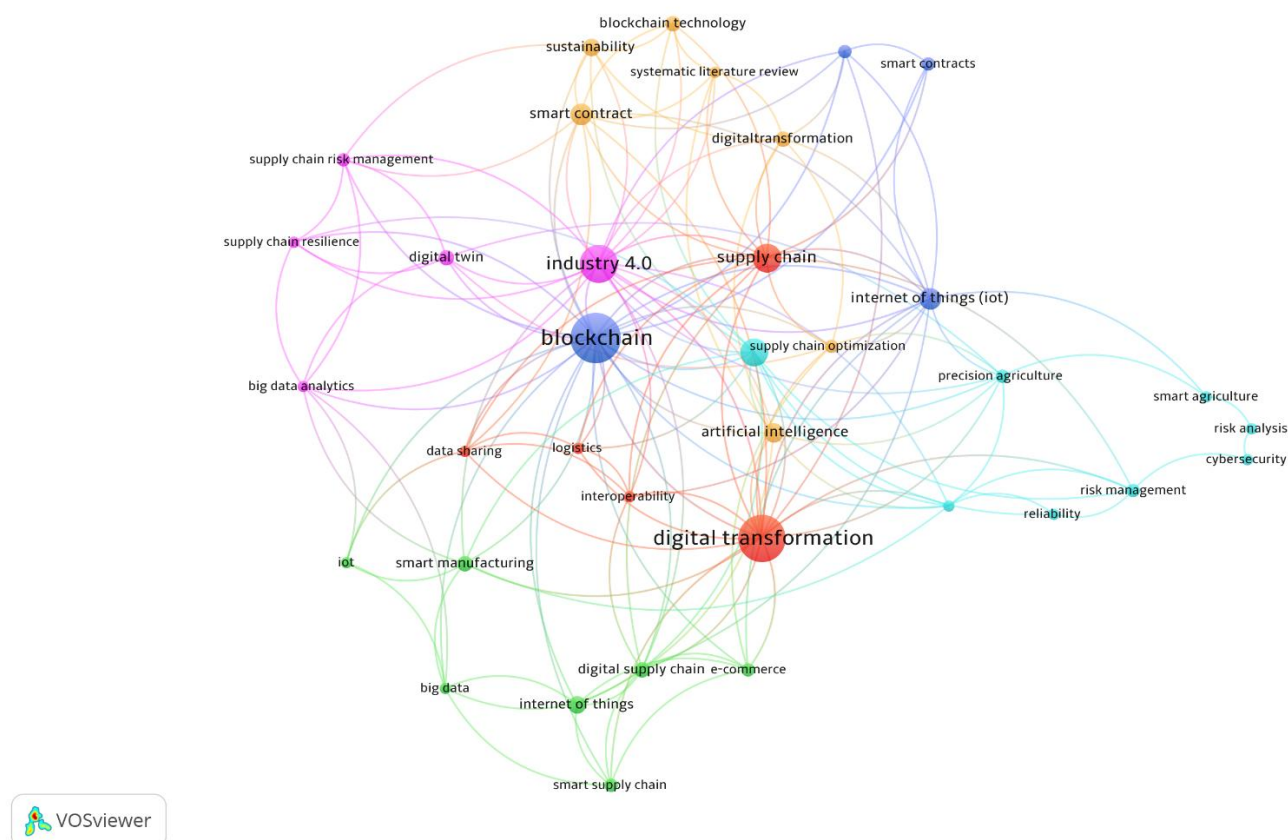
Os dados mostraram o protagonismo de nações emergentes em tecnologia, com destaque para a Índia (16 publicações), e a China (14 publicações), que juntas concentraram parte significativa da produção. A Alemanha (7), os Estados Unidos (6), e o Reino Unido (6), também apareceram como países de destaque, reforçando seu histórico de liderança em inovação e gestão de cadeias de suprimentos. Em seguida, apareceram Taiwan e Austrália (4 cada), além de Itália, Brasil, Federação Russa e Canadá (3 publicações cada). Essa distribuição evidenciou uma dinâmica de pesquisa fortemente influenciada pela Ásia, em especial Índia e China, mas também sustentada por países ocidentais consolidados em pesquisa e desenvolvimento. O Brasil, embora presente, ainda ocupou posição modesta, o que sinaliza tanto um desafio quanto uma oportunidade para ampliar a visibilidade e a contribuição nacional nessa agenda.

A análise conjunta das Figuras 1 e 2 indicou que o crescimento do interesse científico em *Smart Supply Chain Management* acompanhou a consolidação de polos de pesquisa em regiões estratégicas. O crescimento significativo das publicações a partir de 2021, com ápice em 2024, esteve diretamente associado ao fortalecimento de países como Índia e China, que lideraram em número de trabalhos, bem como de nações ocidentais consolidadas em inovação tecnológica, como Estados Unidos, Alemanha e Reino Unido. Esse panorama sugeriu que a expansão da discussão foi impulsionada tanto por economias emergentes, que buscaram consolidar sua posição no cenário global da transformação digital, quanto por países tradicionalmente reconhecidos pela capacidade de geração de conhecimento. Assim, constatou-se uma convergência entre diferentes contextos econômicos e sociais, o que reforça a relevância internacional da temática e apontou oportunidades para ampliar a participação de países como o Brasil na produção científica sobre o tema.

4.2 Análise de coocorrência

A análise de coocorrência de palavras-chave foi realizada por meio do *software* VOSviewer, a partir do portfólio final de 108 artigos selecionados. Definiu-se como parâmetro mínimo três ocorrências por termo, o que resultou na seleção de 36 palavras-chave, distribuídas em seis *clusters*. A Figura 3 apresenta o mapa de coocorrência, no qual se observaram as conexões entre os termos e a formação de agrupamentos temáticos distintos.

Figura 3 – Mapa de coocorrência de palavras-chave



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

O *cluster* azul tiffany reuniu oito termos, entre os quais se destacaram *cybersecurity*, *risk management*, *risk analysis* e *reliability*, associados à dimensão da gestão de riscos em cadeias de suprimentos digitais. Notou-se ainda a presença de *sustainable development* e aplicações como *precision agriculture* e *smart agriculture*, o que indicou a preocupação da literatura em integrar práticas sustentáveis e tecnológicas com resiliência e segurança.

O *cluster* verde agregou sete palavras-chave, como *Big Data*, *Internet of Things (IoT)*, *digital supply chain*, *smart manufacturing* e *smart supply chain*. Esse agrupamento evidenciou a centralidade das tecnologias digitais habilitadoras na configuração de cadeias de suprimentos inteligentes, ressaltando o papel da coleta massiva de dados e da conectividade para a transformação digital.

O *cluster* laranja também apresentou sete termos relevantes, destacando-se *Artificial Intelligence*, *Blockchain technology*, *digital transformation*, *smart contract*, *supply chain optimization* e *sustainability*. Esse conjunto refletiu a intersecção entre tecnologias emergentes e otimização de processos, apontando a incorporação da Inteligência Artificial e da *Blockchain* como estratégias para alcançar maior eficiência, transparência e sustentabilidade.

O *cluster* vermelho, composto por cinco termos, foi representado por *digital transformation*, *data sharing*, *interoperability*, *logistics* e *supply chain*. Esse núcleo relacionou-se à necessidade de integração e compartilhamento de informações entre os diferentes elos da cadeia de suprimentos, destacando a transformação digital como elemento-chave para superar barreiras de interoperabilidade e fortalecer a logística integrada.

O *cluster* rosa incluiu termos como *Industry 4.0*, *Digital Twin*, *Big Data Analytics*, *supply chain resilience* e *supply chain risk management*. Esse grupo vinculou a Indústria 4.0 e ferramentas digitais avançadas à resiliência das cadeias de suprimentos, ressaltando a

importância de análises avançadas de dados e da simulação digital para a antecipação de riscos e a tomada de decisão em ambientes complexos.

Por fim, o *cluster* lilás reuniu quatro termos, incluindo *Blockchain*, *Internet of Things (IoT)*, *smart contracts* e *supply chain management*. Esse agrupamento evidenciou a convergência entre IoT e *Blockchain* para fortalecer a rastreabilidade e a governança das cadeias de suprimentos, reforçando a busca por maior confiabilidade e automação nos processos.

De forma integrada, os seis *clusters* evidenciaram a diversidade temática que compôs a literatura sobre *Smart Supply Chain Management* em contexto de transformação digital. Enquanto alguns grupos enfatizaram a adoção tecnológica (IoT, *Big Data*, Inteligência Artificial, *Blockchain*), outros destacaram a gestão de riscos e resiliência, bem como a integração e sustentabilidade. Assim, o mapa de coocorrência revelou não apenas a multiplicidade de enfoques, mas também a complementaridade entre eles, refletindo a complexidade e a relevância do tema para a pesquisa contemporânea.

4.3 Discussão qualitativa

A Tabela 1 apresentou os dez artigos com maior relevância científica, selecionados a partir do cálculo do *InOrdinatio*, aplicado sobre o portfólio bibliográfico obtido. Essa seleção evidenciou os trabalhos considerados mais significativos na literatura sobre *Smart Supply Chain Management* em contexto de transformação digital, incluindo produções que reuniram tanto rigor metodológico quanto impacto de citações.

Tabela 1 – Análise qualitativa do portfólio de artigos

Autores	Artigos	InOrdinatio
Saberi <i>et al.</i> , (2019)	Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management	6651,2
Dolgui e Ivanov (2022)	5G in digital supply chain and operations management: fostering flexibility, end-to-end connectivity and real-time visibility through internet-of-everything	1055,6
Ray (2023)	Web3: A comprehensive review on background, technologies, applications, zero-trust architectures, challenges and future directions	652,0
Khanfar <i>et al.</i> , (2021)	Applications of blockchain technology in sustainable manufacturing and supply chain management: A systematic review	572,7
Zscheischler <i>et al.</i> , (2022)	Perceived risks and vulnerabilities of employing digitalization and digital data in agriculture – Socially robust orientations from a transdisciplinary process	555,1
Ivanov <i>et al.</i> , (2019)	Digital Supply Chain Twins: Managing the Ripple Effect, Resilience, and Disruption Risks by Data-Driven Optimization, Simulation, and Visibility	526,2
Thompson e Rust (2023)	Blocking blockchain: Examining the social, cultural, and institutional factors causing innovation resistance to digital technology in seafood supply chains	369,7
Neethirajan (2023)	Artificial Intelligence and Sensor Technologies in Dairy Livestock Export: Charting a Digital Transformation	367,0
Cherrafi <i>et al.</i> , (2022)	Digital technologies and circular economy practices: vital enablers to support sustainable and resilient supply chain management in the post-COVID-19 era	352,1
Mantravadi <i>et al.</i> , (2023)	Application of MES/MOM for Industry 4.0 supply chains: A cross-case analysis	333,0

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A sistematização apresentada na Tabela 1, evidenciou os artigos mais relevantes da literatura recente, considerando critérios como fator de impacto, número de citações, atualidade e alinhamento ao tema investigado. Esses trabalhos não apenas representaram a base científica mais robusta sobre *Smart Supply Chain Management* em contexto de transformação digital, como também permitiram identificar autores de destaque, diferentes perspectivas temáticas e abordagens metodológicas aplicadas. Na sequência, esses estudos serviram de base para a análise qualitativa, na qual foram exploradas suas principais contribuições, lacunas de pesquisa e inter-relações com os *clusters* identificados pela análise bibliométrica.

A Tabela 1 reuniu os estudos de maior relevância no portfólio e permitiu observar convergências temáticas que dialogaram diretamente com os *clusters* bibliométricos descritos (Seção 4.2). Inicialmente, *Blockchain* e sustentabilidade apareceram como eixo estruturante, e Saberi *et al.* (2019), discutiram as relações entre *blockchain* e *sustainable supply chain management*, destacando rastreabilidade, transparência e governança de dados como alavancas para desempenho ambiental e social. Na mesma direção, a revisão de Khanfar *et al.* (2021), sistematizou aplicações em manufatura sustentável, reforçando que o valor da tecnologia decorreu de padrões de interoperabilidade e de modelos de negócio capazes de capturar benefícios ao longo da cadeia. Esses achados se conectaram aos *clusters* laranja/lilás (*digital transformation, Blockchain technology, smart contracts*), nos quais tecnologia e desenho institucional caminharam juntos.

Ao mesmo tempo, a literatura mostrou que a adoção não foi apenas técnica, onde o estudo de Thompson e Rust (2023), apontou como fatores sociais, culturais e institucionais podem ter “bloqueado” o blockchain em cadeias de pescado, sugerindo que confiança, incentivos e marcos regulatórios são condições de contorno para que soluções distribuídas prosperem. Essa perspectiva dialogou com o *cluster* vermelho (*data sharing, interoperability, logistics*), no qual compartilhamento de dados e alinhamento entre *stakeholders* foram identificados como pré-requisitos da transformação.

No campo da conectividade e visibilidade, Dolgui e Ivanov (2022), argumentaram que 5G/IoE ampliaram flexibilidade operacional e visibilidade ponta a ponta em tempo real, habilitando adaptações dinâmicas na cadeia. A ênfase em IoT, *Big Data* e cadeia digital aproximou-se do *cluster* verde, enquanto os *trade-offs*, custos de infraestrutura, cibersegurança e integração com legados, foram associados ao *cluster* azul tiffany (*cybersecurity, reliability, risk management*).

A resiliência foi aprofundada por Ivanov *et al.* (2019), que propuseram o conceito de *Digital Supply Chain Twin* como combinação de simulação, otimização e *analytics* para antecipar *ripple effects*, testar planos de contingência e elevar a *end-to-end visibility*. O trabalho contribuiu ao articular gestão de riscos com uma arquitetura digital orientada a dados, posicionando-se no encontro dos *clusters* rosa (*digital twin, resilience, Big Data analytics*) e azul tiffany (*risk management*).

No contexto da agricultura, Zscheischler *et al.* (2022), evidenciaram riscos e vulnerabilidades da digitalização e defenderam orientações sócio-técnicas para torná-la socialmente robusta. A ênfase em governança de dados, inclusão e capacidades locais conversou com o *cluster* azul tiffany (*smart precision agriculture, sustainable development*), sinalizando que maturidade digital e contexto institucional caminharam juntos. No caso do setor de laticínios, Neethirajan (2023), discutiu IA e sensores na exportação, apontando ganhos em monitoramento em tempo real e qualidade, mas também desafios de qualidade de dados e ética algorítmica, pontos que aproximaram os *clusters* verde (IoT/Big Data) e laranja (AI).

A literatura recente também integrou digitalização e economia circular. Cherrafi *et al.* (2022), mostraram que tecnologias digitais foram habilitadoras de práticas circulares e de resiliência

pós-COVID-19, ao fortalecerem rastreabilidade e fechar ciclos de materiais, um elo claro entre os *clusters* laranja (*sustainability, digital transformation*) e rosa (*resilience*). Do ponto de vista operacional, o estudo de Mantravadi *et al.* (2023), demonstrou, via MES/MOM em casos reais, como a integração chão de fábrica e cadeia de suprimentos materializou a Indústria 4.0 com dados confiáveis e oportunos, reforçando o *cluster* vermelho (*interoperability/logistics*) e sua conexão com *Industry 4.0* no *cluster* rosa.

Em conjunto, os dez estudos evidenciaram três mensagens centrais:

- a) A digitalização (IoT/5G, IA, *Blockchain*, *Digital Twins*), foi elemento-chave para a visibilidade, rastreabilidade e automação, condições para eficiência e sustentabilidade;
- b) Interoperabilidade, governança e compartilhamento de dados foram tão críticos quanto as tecnologias;
- c) Resiliência dependeu de uma abordagem integrada de gestão de riscos (modelos, dados e capacidades organizacionais), sensível ao contexto setorial e institucional. Esses pontos reforçaram e explicaram os *clusters* bibliométricos encontrados na Seção 4.2, oferecendo base para as implicações gerenciais e lacunas de pesquisa a serem detalhadas nas seções subsequentes.

5. Considerações Finais

O presente estudo analisou a literatura recente sobre *Smart Supply Chain Management* em contexto de transformação digital, com foco nos desafios, barreiras e riscos que influenciam a plena integração das tecnologias emergentes nas cadeias de suprimentos. A partir da aplicação da Methodi Ordinatio 2.0, foi elaborado um portfólio de 108 artigos, dos quais, dez se destacaram pela relevância científica e foram examinados qualitativamente, em complemento à análise bibliométrica realizada no VOSviewer.

Os resultados mostram que, embora tecnologias como *Blockchain*, Inteligência Artificial, Internet das coisas, Gêmeos Digitais e 5G atuem como impulsionadoras da digitalização das cadeias, sua adoção ainda enfrenta obstáculos. Questões como interoperabilidade, cibersegurança, governança de dados, aspectos regulatórios e fatores socioculturais surgem como barreiras que reduzem a efetividade dessas soluções. Esses desafios se conectam diretamente à busca por resiliência, já que cadeias de suprimentos globalizadas enfrentam disrupções frequentes e exigem resposta ágil, visibilidade ponta a ponta e sustentabilidade em seus processos.

A análise dos dez artigos mais relevantes permitiu identificar três eixos centrais que sintetizam as contribuições da literatura: a dimensão tecnológica, ligada ao desenvolvimento e à aplicação de soluções digitais; a dimensão organizacional e institucional, relacionada à confiança, ao alinhamento entre os *stakeholders* e à adequação regulatória; e a dimensão estratégica, voltada à resiliência, sustentabilidade e circularidade. Essas três dimensões reforçam que a transformação digital das cadeias de suprimentos vai além da simples implementação de ferramentas, exigindo redesenho de processos, modelos de negócio e políticas de integração.

Como implicações, este estudo contribui ao mapear os principais avanços e lacunas da literatura, servindo de base para gestores e pesquisadores interessados em compreender os limites e oportunidades da digitalização no *Smart Supply Chain Management*. Para trabalhos futuros, recomenda-se o aprofundamento em estudos empíricos e setoriais, que validem em contextos reais os benefícios e riscos identificados. Além disso, destaca-se a necessidade de explorar modelos de governança mais flexíveis e integrados, capazes de equilibrar inovação tecnológica, resiliência e sustentabilidade.

Referências

- CHERRAFI, A.; CHIARINI, A.; BELHADI, A.; BAZ, J.E.; BENABDELLAH, A.C. Digital technologies and circular economy practices: vital enablers to support sustainable and resilient supply chain management in the post-COVID-19 era. **The TQM Journal**, v. 34, n.7, p.179-202, 2022.
- DOLGUI, A.; IVANOV, D. 5G in digital supply chain and operations management: fostering flexibility, end-to-end connectivity and real-time visibility through internet-of-everything. **International Journal of Production Research**, v. 60, n. 2, p. 442–451, 2022.
- IVANOV, D.; DOLGUI, A. DAS, A.; SOKOLOV, B. Digital Supply Chain Twins: Managing the Ripple Effect, Resilience, and Disruption Risks by Data-Driven Optimization, Simulation, and Visibility. **Handbook of Ripple Effects in the Supply Chain**, v. 276, p. 309–332, 2019.
- KHANFAR, A.A.A; IRANMANESH, M.; GHOBAKHLOO, M.; SENALI, M.G.; FATHI, M. Applications of Blockchain Technology in Sustainable Manufacturing and Supply Chain Management: A Systematic Review. **Sustainability**, v. 13, n.14, p. 7870, 2021.
- MANTRAVADI, S.; SRAI, J.S.; MØLLER, C. Application of MES/MOM for Industry 4.0 supply chains: A cross-case analysis. **Computers in Industry**, v. 148, p. 103907, 2023.
- NEETHIRAJAN, S. Artificial Intelligence and Sensor Technologies in Dairy Livestock Export: Charting a Digital Transformation. **Sensors**, v. 23, n.16, p. 7045, 2023.
- PAGANI, R. N.; PEDROSO, B.; SANTOS, C.B.; PICININ, C.T.; KOVALESKI, J.L. Methodi Ordinatio 2.0: revisited under statistical estimation, and presenting Flinder and RankIn. **Quality and Quantity**, v. 57, p. 4563-4602, 2023
- RAY, P.P. Web3: A comprehensive review on background technologies, applications, zero-trust architectures, challenges and future directions. **Internet of Things and Cyber-Physical Systems**, v. 3, p. 213-248, 2023.
- SABERI, S.; KOUHIZADEH, M.; SARKIS, J.; SHEN, L. Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. **International Journal of Production Research**, v. 57, n.7, p. 2117–2135, 2019.
- THOMPSON, B.S.; RUST, S. Blocking blockchain: Examining the social, cultural, and institutional factors causing innovation resistance to digital technology in seafood supply chains. **Technology in Society**, v. 73, p. 102235, 2023.
- ZSCHEISCHLER, J.; BRUNSCH, R.; ROGGA, S.; SCHOLZ, R.W. Perceived risks and vulnerabilities of employing digitalization and digital data in agriculture – Socially robust orientations from a transdisciplinary process. **Journal of Cleaner Production**, v. 358, p. 132034, 2022.