

A RELEVÂNCIA DOS GÊMEOS DIGITAIS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

THE RELEVANCE OF DIGITAL TWINS IN THE SUPPLY CHAIN: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Breno Trautwein Neto¹
Eduardo de Freitas Rocha Loures²
Fernando Deschamps³

Resumo – Este artigo tem como objetivo analisar a aplicação dos Gêmeos Digitais na cadeia de suprimentos no contexto da Indústria 4.0. A metodologia adotada consistiu em uma revisão sistemática da literatura, com a análise de estudos científicos recentes que abordam aplicações, ferramentas, benefícios e desafios associados a essa tecnologia. Os resultados indicam que os Gêmeos Digitais contribuem significativamente para o monitoramento em tempo real, simulação de cenários, otimização de processos e apoio à tomada de decisão, promovendo ganhos em eficiência operacional, flexibilidade e planejamento. Conclui-se que os Gêmeos Digitais representam uma tecnologia estratégica para a transformação digital da cadeia de suprimentos, embora sua adoção exija investimentos em infraestrutura, capacitação e governança de dados.

Palavras-chave: Gêmeo Digital. Cadeia de Suprimentos. Cadeia de Suprimentos Digital. Transformação Digital.

Abstract - This article aims to analyze the application of Digital Twins in the supply chain within the context of Industry 4.0. The adopted methodology consisted of a systematic literature review, including the analysis of recent scientific studies addressing applications, tools, benefits, and challenges associated with this technology. The results indicate that Digital Twins significantly contribute to real-time monitoring, scenario simulation, process optimization, and decision-making support, promoting gains in operational efficiency, flexibility, and planning. It is concluded that Digital Twins represent a strategic technology for the digital transformation of the supply chain, although their adoption requires investments in infrastructure, workforce training, and data governance.

Keywords: Digital Twin. Supply Chain. Digital Supply Chain. Digital Transformation.

¹ Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas (PUC-PR); Engenheiro de Produção (PUC-PR). Contato: brenotrautweinneto@gmail.com

² Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas (UFSC); Professor e pesquisador em transformação digital e gêmeos digitais na cadeia de suprimentos. Contato: eduardo.loures@pucpr.br

³ Doutor em Engenharia de Produção (UFSC); Professor e pesquisador com foco em logística, simulação e digitalização de processos industriais. Contato: fernando.deschamps@pucpr.br

1. INTRODUÇÃO

Os Gêmeos Digitais estão revolucionando a cadeia de suprimentos ao permitirem o monitoramento em tempo real, a previsão de falhas e a otimização de processos. Inseridos no contexto da Indústria 4.0, esses modelos virtuais conectados a objetos físicos utilizam dados gerados por sensores para simular e antecipar cenários, melhorando a eficiência operacional e a capacidade de resposta das empresas a mudanças de mercado. A crescente complexidade das cadeias de suprimentos globais exige soluções tecnológicas inovadoras para mitigar riscos, otimizar recursos e melhorar a tomada de decisão. A tecnologia também está sendo empregada na otimização de transportes, na melhoria da gestão de estoques e no planejamento da produção em tempo real. Além disso, auxiliam na criação de cenários hipotéticos para testar diferentes estratégias operacionais antes da implementação no ambiente físico. Este artigo visa compreender como essa tecnologia pode ser aplicada de maneira eficaz na cadeia de suprimentos, analisando as áreas de aplicação, as ferramentas utilizadas, identificando os benefícios e desafios associados, além de fornecer diretrizes práticas que possam auxiliar as organizações na sua implementação.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Gêmeos Digitais

Os Gêmeos Digitais são representações virtuais de sistemas físicos que utilizam sensores e tecnologias digitais para coletar dados em tempo real, permitindo simulação, análise e previsão de cenários. Essa abordagem é essencial já que viabiliza a tomada de decisão baseada em dados concretos, reduzindo desperdícios e promovendo maior eficiência operacional, proporcionando uma visão abrangente do desempenho operacional, facilitando a identificação de problemas e a otimização de processos.

2.2. Cadeia de Suprimentos

A Cadeia de Suprimentos envolve a gestão integrada de fluxos de materiais, informações e recursos financeiros, envolvidos na criação e entrega de produtos e serviços. Os Gêmeos Digitais nesta área têm destacado a necessidade de monitoramento contínuo e adaptação das operações, visando atender a demandas dinâmicas do mercado. O alinhamento entre Gêmeos Digitais e Cadeia de Suprimentos possibilita a análise preditiva e o desenvolvimento de estratégias mais robustas para a gestão da cadeia.

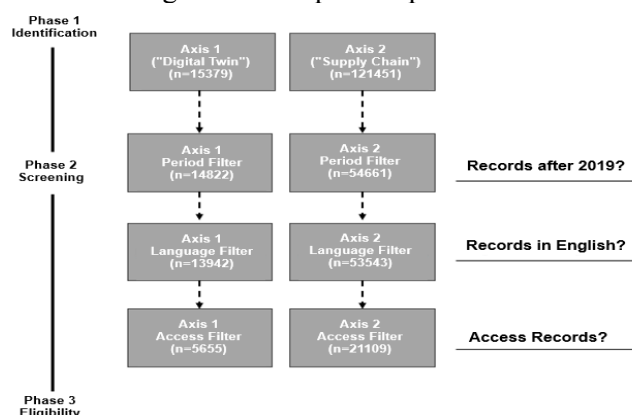
2.3. Interseção entre Gêmeos Digitais e Cadeia de Suprimentos

Empresas como Siemens e General Electric utilizam Gêmeos Digitais para prever falhas e otimizar processos. Essa tecnologia reduz custos de manutenção, evita paradas inesperadas e melhora a eficiência operacional. Além disso, sua aplicação em estoque permite previsões de demanda mais precisas, evitando desperdícios e garantindo entregas mais ágeis. Estudos mostram que a integração dessas tecnologias pode levar a melhores resultados na produção, redução de custos e otimização do estoque. A análise dos dados coletados pelos Gêmeos Digitais é essencial para a tomada de decisão fundamentada e para a implementação de melhorias contínuas nos processos.

3. METODOLOGIA

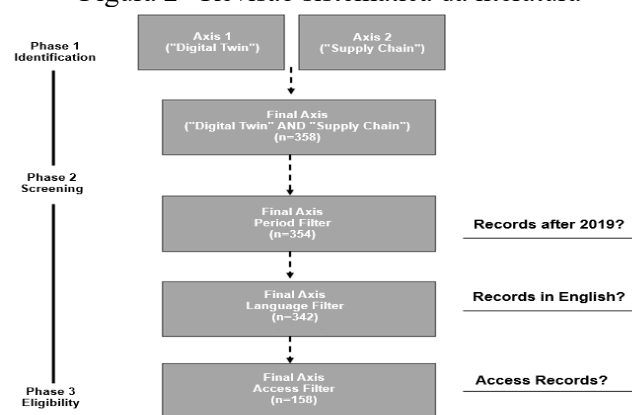
A pesquisa adotou uma abordagem de revisão sistemática da literatura, analisando estudos acadêmicos relevantes sobre a aplicação de Gêmeos Digitais na cadeia de suprimentos. Foram selecionados artigos revisados por pares e estudos de caso para identificar áreas de aplicação, ferramentas tecnológicas, benefícios e desafios. A análise comparou diferentes setores industriais e utilizou ferramentas de codificação para identificar padrões e tendências emergentes.

Figura 1 – Pesquisa Exploratória



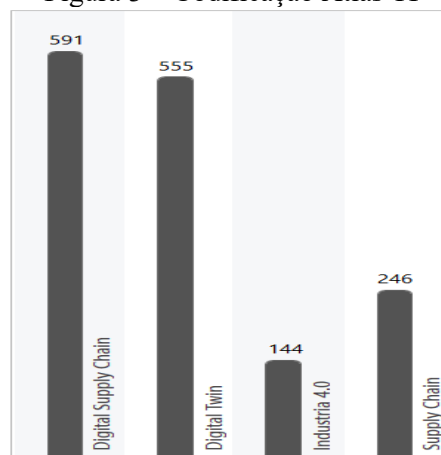
Fonte: Autores, 2025.

Figura 2 –Revisão sistemática da literatura



Fonte: Autores, 2025.

Figura 3 – Codificação Atlas TI



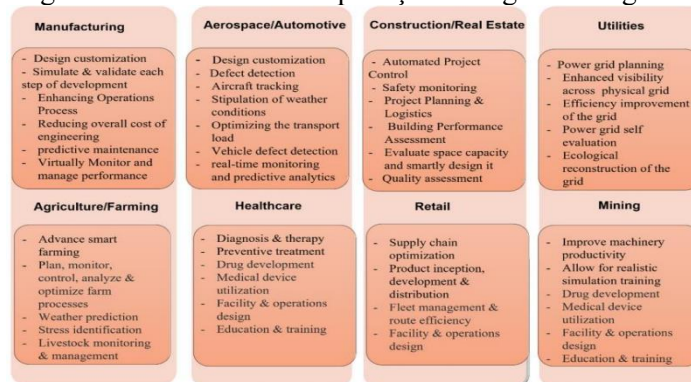
Fonte: Autores, 2025.

4. CENÁRIOS CIENTÍFICOS E INDUSTRIAIS

4.1. Áreas de Aplicação

Os Gêmeos Digitais na cadeia de suprimentos despertam interesse por sua capacidade de criar representações virtuais detalhadas, promovendo conectividade, automação e inovação contínua (Chabanet *et al.*, 2023). Considerada uma tecnologia essencial para impulsionar a transformação digital, sua adoção na manufatura ainda enfrenta desafios devido à complexidade de implementação (Bhandal *et al.*, 2022; Latif & Starly, 2020; Tozanli *et al.*, 2020; Uhlemann *et al.*, 2017).

Figura 4 – Casos de uso e aplicações dos gêmeos digitais.



Fonte: (Attaran & Celik, 2023).

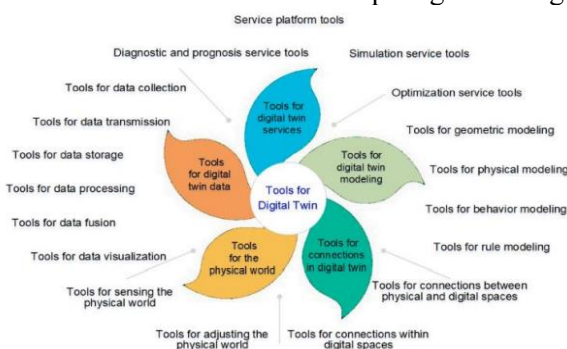
No planejamento e otimização da cadeia, essa tecnologia simula cenários de oferta e demanda, permitindo um planejamento eficaz dos estoques e distribuição de produtos. Modelos preditivos auxiliam na antecipação das necessidades do mercado, ajustando operações de forma mais eficiente (Attaran & Celik, 2023; Melesse *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2020). Na gestão operacional, viabilizam o monitoramento em tempo real de ativos e processos, viabilizando a manutenção preditiva e prevenindo falhas inesperadas (Attaran & Celik, 2023; Wang *et al.*, 2020). Já na logística e transporte, essa tecnologia melhora a roteirização e programação de entregas, reduzindo custos e otimizando a utilização da frota (Attaran & Celik, 2023; Wang *et al.*, 2020). Na manufatura, a modelagem digital de processos produtivos ajuda a identificar gargalos e aprimorar a eficiência da produção. O monitoramento de qualidade em tempo real assegura a conformidade com padrões estabelecidos, elevando a confiabilidade dos resultados (Attaran & Celik, 2023; Wang *et al.*, 2020). Essa tecnologia oferece soluções estratégicas e operacionais para otimizar processos, reduzir custos e aumentar a competitividade das empresas.

Observa-se uma ampla diversidade e complexidade das áreas de aplicação dos Gêmeos Digitais. São identificadas várias funções dentro da Cadeia de Suprimentos onde essa tecnologia pode ser integrada, todavia, embora as áreas sejam vastas, muitas organizações ainda estão em fases iniciais de adoção, não explorando plenamente o potencial dos Gêmeos Digitais para transformar operações.

4.2.Ferramentas Tecnológicas Aplicadas

A implementação dos Gêmeos Digitais na cadeia de suprimentos requer uma variedade de ferramentas tecnológicas, incluindo plataformas de Internet das Coisas, Inteligência Artificial, aprendizado de máquina, análise de Big Data e sistemas avançados de simulação computacional. Essas tecnologias trabalham em conjunto para capturar e processar volumes de dados operacionais, transformando-os em insights estratégicos.

Figura 5 – Estrutura de ferramentas para gêmeos digitais.



Fonte: (Qi *et al.*, 2021).

A escolha inadequada ou a subutilização destas ferramentas pode limitar as potencialidades dos Gêmeos Digitais, exigindo uma análise mais estratégica na seleção e

prática. Embora essas ferramentas sejam essenciais, sua eficácia está atrelada à capacitação das equipes que as utilizam e à interoperabilidade entre sistemas. A adoção de tecnologias avançadas requer esforços não apenas em termos de investimento, mas também em preparo humano e reestruturação de processos para garantir que a integração das ferramentas seja realizada de forma eficaz e que os dados gerados possam ser aproveitados de maneira estratégica.

4.3. Benefícios e Barreiras

A implementação dos Gêmeos Digitais na cadeia de suprimentos proporciona diversos benefícios, incluindo maior visibilidade e rastreabilidade dos processos, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos. A capacidade de simulação em tempo real possibilita ajustes estratégicos imediatos, reduzindo desperdícios e melhorando a eficiência operacional. Além disso, os Gêmeos Digitais favorecem a manutenção preditiva, reduzindo custos e aumentando a confiabilidade dos ativos. Entretanto, a adoção dessa tecnologia enfrenta desafios significativos. O alto custo inicial de implementação, a necessidade de infraestrutura tecnológica avançada e a qualificação da equipe são barreiras relevantes. A integração com sistemas legados pode ser complexa, exigindo investimentos em compatibilidade e segurança cibernética para proteger os dados em tempo real. Para superar as barreiras, é necessário desenvolver estratégias de transformação digital, incluindo investimentos em treinamento, criação de um ambiente organizacional propício à inovação e governança eficiente dos dados coletados.

Embora os Gêmeos Digitais ofereçam benefícios operacionais ao impulsionar a eficiência, reduzir custos operacionais, melhorar a qualidade do produto e enriquecer a tomada de decisões estratégicas, é essencial por parte da organização o compromisso contínuo com treinamentos, investimentos em custos iniciais de implementação e uma abordagem holística em termos de gestão da mudança.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo investigou o papel dos Gêmeos Digitais na transformação digital da Cadeia de Suprimentos, contribuindo para uma compreensão mais profunda de áreas de aplicação, ferramentas utilizadas, benefícios e desafios associados. Os resultados revelaram que essa tecnologia oferece uma gama de aplicações significativas promovendo melhorias de processos e eficiência operacional. A análise crítica dos resultados enfatizou a importância da integração eficiente entre tecnologia e processos organizacionais. As empresas frequentemente enfrentam barreiras, como resistência à mudança e falta de uma cultura organizacional que favoreça a inovação, destacando a necessidade de um comprometimento contínuo não apenas com a implementação de ferramentas tecnológicas, mas também com a capacitação de equipes e a reestruturação de processos. A pesquisa sugere que um modelo de governança robusto e uma abordagem holística são essenciais para o sucesso na adoção dessa tecnologia.

As contribuições teóricas desta pesquisa são valiosas para a academia, oferecendo insights sobre as interconexões entre Gêmeos Digitais e Cadeia de Suprimentos. As considerações práticas para a indústria incluem diretrizes claras para a implementação eficaz, destacando que o sucesso depende de um alinhamento estratégico entre as ferramentas digitais e os objetivos organizacionais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo abre caminho para pesquisas futuras que investiguem novas aplicações dos Gêmeos Digitais, buscando expandir o conhecimento sobre a interação entre essas tecnologias. As recomendações incluem a necessidade de mais investigações empíricas assim como o desenvolvimento de estudos de caso para compreender melhor as variações

de implementação em diferentes contextos organizacionais. Os Gêmeos Digitais oferecem um grande potencial para a transformação da cadeia de suprimentos, reduzindo custos e aumentando a eficiência operacional. No entanto, sua adoção bem-sucedida exige investimentos em infraestrutura, treinamento e uma cultura organizacional aberta à inovação. Estudos futuros podem aprofundar casos reais de implementação para avaliar o impacto prático dessa tecnologia.

7. REFERÊNCIAS

ATTARAN, M.; CELIK, B. G. **Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities.** ***Decision Analytics Journal***, v. 6, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165>.

BHANDAL, R.; MERITON, R.; KAVANAGH, R. E.; BROWN, A. **The application of digital twin technology in operations and supply chain management: a bibliometric review.** ***Supply Chain Management***, v. 27, n. 2, p. 182–206, 2022. <https://doi.org/10.1108/SCM-01-2021-0053>.

CHABANET, S.; BRIL EL-HAOUZI, H.; MORIN, M.; GAUDREAU, J.; THOMAS, P. **Toward digital twins for sawmill production planning and control: benefits, opportunities, and challenges.** ***International Journal of Production Research***, v. 61, n. 7, p. 2190–2213, 2023. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2068086>.

LATIF, H.; STARLY, B. **A simulation algorithm of a digital twin for manual assembly process.** ***Procedia Manufacturing***, v. 48, p. 932–939, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.132>.

MELESSE, T. Y.; BOLLO, M.; DI PASQUALE, V.; RIEMMA, S. **Digital Twin for Inventory Planning of Fresh Produce.** ***IFAC-PapersOnLine***, v. 55, n. 10, p. 2743–2748, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.134>.

QI, Q.; TAO, F.; HU, T.; ANWER, N.; LIU, A.; WEI, Y.; WANG, L.; NEE, A. Y. C. **Enabling technologies and tools for digital twin.** ***Journal of Manufacturing Systems***, v. 58, p. 3–21, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.001>.

TOZANLI, Ö.; KONGAR, E.; GUPTA, S. M. **Evaluation of waste electronic product trade-in strategies in predictive twin disassembly systems in the era of blockchain.** ***Sustainability***, v. 12, n. 13, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12135416>.

UHLEMANN, T. H. J.; LEHMANN, C.; STEINHILPER, R. **The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0.** ***Procedia CIRP***, v. 61, p. 335–340, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.152>.

WANG, Y.; WANG, X.; LIU, A. **Digital twin-driven supply chain planning.** ***Procedia CIRP***, v. 93, p. 198–203, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.154>.

8. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.