REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

LEAN MANUFACTURING E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS: REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE MELHORIA E INOVAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS

LEAN MANUFACTURING AND DISCRETE EVENT SIMULATION: AN INTEGRATIVE REVIEW OF PROCESS IMPROVEMENT AND INNOVATION IN PRODUCTION SYSTEMS

LEAN MANUFACTURING Y SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS: REVISIÓN INTEGRADORA SOBRE LA MEJORA E INNOVACIÓN DE PROCESOS PRODUCTIVOS

Marcos Welliton Daros Felipe
Mestrando, Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Brasil
E-mail: marcoswdf@outlook.com

Ana Letícia da Silva
Mestranda, Universidade do Contestado (UNC), Brasil
E-mail: annaleticcia.s@gmail.com

Vilson Menegon Bristot
Doutor, Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Brasil
E-mail: vilson.bristot@unesc.net

Lenita Agostinetto
Doutora, Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC), Brasil
E-mail: prof.leagostinetto@uniplaclages.edu.br

Jacir Favretto
Doutor, Universidade do Contestado (UNC), Brasil
E-mail: jfavretto@unc.br

Leopoldo Pedro Guimarães Filho
Doutor, Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Brasil
E-mail: lpg@unesc.net

Resumo

A integração de *lean manufacturing* (LM) e Simulação de Eventos Discretos (DES) é uma abordagem estratégica para inovações em processos produtivos, pois reduz desperdícios operacionais através da modelagem e simulação computacional, possibilitando identificar restrições

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

e avaliar os impactos das melhorias propostas. Essa revisão de literatura tem como objetivo analisar como a aplicação conjunta de LM e DES contribui para a geração de inovações em sistemas produtivos e quais tipos de inovação resultam dessa integração. Para a busca dos estudos, utilizou-se a chave de busca "*lean manufacturing*" AND "*discrete event simulation*" nas bases bibliográficas Scopus e Web of Science, complementadas pela plataforma de conteúdo científico ScienceDirect. Foram selecionados inicialmente 190 artigos e após as triagens foram analisados na íntegra 36 artigos publicados entre 2020 e 2025. Os resultados evidenciam o potencial dessa integração, especialmente para inovações incrementais relacionadas ao aumento de eficiência operacional, redução de *lead time* e otimização de fluxos produtivos. Observou-se também que segmentos industriais com maior maturidade tecnológica são os que mais utilizam essa aplicação conjunta, enquanto setores menos digitalizados apresentam lacunas de pesquisa e potencial de expansão. Os principais desafios enfrentados incluem a dependência de especialistas que possuam conhecimento técnico em ambas as metodologias, a dificuldade na coleta de dados confiáveis e o esforço para calibrar os modelos computacionais. Conclui-se que a integração de LM e DES contribui diretamente para potencializar e viabilizar inovações em sistemas produtivos, no entanto, é necessário superar as barreiras atuais para ampliar sua aplicação nas organizações.

Palavras-chave: Otimização de processos; sistemas produtivos; simulação computacional; inovação incremental.

Abstract

The integration of lean manufacturing (LM) and Discrete Event Simulation (DES) is a strategic approach for innovations in production processes, as it reduces operational waste through computational modeling and simulation, enabling the identification of constraints and the evaluation of the impacts of proposed improvements. This literature review aims to analyze how the joint application of LM and DES contributes to the generation of innovations in production systems and what types of innovation result from this integration. To identify relevant studies, the search string "lean manufacturing" AND "discrete event simulation" was applied to the Scopus and Web of Science bibliographic databases, complemented by the ScienceDirect scientific content platform. Initially, 190 articles were identified, and after the screening process, 36 articles published between 2020 and 2025 were selected for full-text analysis. The results highlight the potential of this integration, especially for incremental innovations related to increased operational efficiency, reduced lead time, and optimization of production flows. It was also observed that industrial segments with greater technological maturity are those that most use this joint application, while less digitized sectors present research gaps and potential for expansion. The main challenges faced include the reliance on specialists with technical knowledge in both methodologies, the difficulty in collecting reliable data, and the effort required to calibrate computational models. It is

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

concluded that the integration of LM and DES directly contributes to enhancing and enabling innovations in production systems; however, it is necessary to overcome current barriers to expand its application in organizations.
Keywords: Process optimization; production systems; computer simulation; incremental innovation.

Resumen

La integración de Lean Manufacturing (LM) y la Simulación de Eventos Discretos (DES) constituye un enfoque estratégico para la innovación en los procesos productivos, ya que permite reducir los desperdicios operacionales mediante el modelado y la simulación computacional, posibilitando la identificación de restricciones y la evaluación de los impactos de las mejoras propuestas. Esta revisión de literatura tiene como objetivo analizar cómo la aplicación conjunta de LM y DES contribuye a la generación de innovaciones en sistemas productivos y qué tipos de innovación resultan de esta integración. Para identificar estudios relevantes, se aplicó la cadena de búsqueda “lean manufacturing” AND “discrete event simulation” en las bases de datos bibliográficas Scopus y Web of Science, complementadas por la plataforma de contenido científico ScienceDirect. Inicialmente, se seleccionaron 190 artículos y, tras los procesos de cribado, se analizaron en profundidad 36 artículos publicados entre 2020 y 2025. Los resultados evidencian el potencial de esta integración, especialmente para las innovaciones incrementales relacionadas con el aumento de la eficiencia operativa, la reducción del lead time y la optimización de los flujos productivos. Asimismo, se observó que los segmentos industriales con mayor madurez tecnológica son los que más utilizan esta aplicación conjunta, mientras que los sectores menos digitalizados presentan vacíos de investigación y potencial de expansión. Los principales desafíos identificados incluyen la dependencia de especialistas con conocimientos técnicos en ambas metodologías, la dificultad para recopilar datos fiables y el esfuerzo requerido para calibrar los modelos computacionales. Se concluye que la integración de LM y DES contribuye directamente a potenciar y viabilizar innovaciones en los sistemas productivos; sin embargo, es necesario superar las barreras actuales para ampliar su aplicación en las organizaciones.
Palabras clave: optimización de procesos; sistemas productivos; simulación computacional; innovación incremental.

1. Introdução

A inovação aplicada aos processos produtivos é um dos pilares fundamentais da competitividade entre as indústrias no cenário contemporâneo. Através da inovação é possível otimizar recursos, minimizar desperdícios e

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

melhorar os resultados operacionais das companhias. Conforme destaca Timotius (2023), a inovação de processos pode aprimorar todas as fases de desenvolvimento e agregação de valor de um produto, como por exemplo, a aceitação de um pedido, movimentação de materiais, fabricação de um produto, controle de qualidade e armazenamento.

No contexto de inovações aplicadas a processos produtivos, as inovações são normalmente associadas às melhorias realizadas no processo de fabricação. As inovações incrementais e radicais são dois grupos comuns e amplamente discutidos na literatura. Independentemente de sua caracterização, a adoção de inovação em ambientes industriais exige uma análise criteriosa de viabilidade de sua implantação, principalmente quando associada a altos investimentos ou alterações estruturais na empresa.

Nesse contexto, a Simulação de Eventos Discretos (DES) vem se popularizando e contribuindo na validação das melhorias e aumento da taxa de sucesso de sua implantação. Conforme aponta Wei et al. (2024), a DES pode ser caracterizada como uma técnica de modelagem computacional que representa virtualmente sistemas baseados em eventos cronológicos, permitindo prever com antecedência o impacto de automações, alterações de *layout*, ou outras melhorias no fluxo produtivo antes de implementá-las no ambiente físico.

Para potencializar os resultados das simulações computacionais, é necessário associar a DES com outras técnicas de gestão. Uma das abordagens utilizadas é o *lean manufacturing* (LM), oriundo do Sistema Toyota de Produção[1]. O LM é utilizado nas indústrias para eliminar desperdícios e incertezas nos processos produtivos por meio de uma gestão científica e com técnicas consolidadas que promovem a padronização das atividades e a melhoria contínua das etapas do processo de fabricação (Du et al., 2023).

A integração entre a DES e o LM tem sido apontada na literatura como uma

[1] Sistema Toyota de Produção: sistema de gestão desenvolvido pela Toyota Motor Corporation com foco na eliminação de desperdícios, na melhoria contínua e na maximização da eficiência dos processos produtivos, constituindo a base conceitual do *lean manufacturing* (Ohno, 1997).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

abordagem complementar para o aprimoramento de sistemas produtivos. Enquanto o LM fornece métodos e ferramentas para identificar oportunidades de melhoria e promover a criação de valor, a DES possibilita a representação virtual do sistema e a avaliação prévia de diferentes cenários operacionais. Dessa forma, as organizações podem analisar os efeitos potenciais de intervenções antes de sua implementação, reduzindo incertezas, apoiando a tomada de decisão e aumentando a probabilidade de sucesso das mudanças propostas.

Apesar do aumento das publicações relacionadas a integração entre DES e LM, ainda são limitados os estudos que analisam essa combinação sob a perspectiva da inovação em processos produtivos. Em muitos casos, as soluções propostas apresentam características associadas à inovação, porém seus resultados são discutidos predominantemente por meio de indicadores de desempenho operacional. Wolf et al. (2022), por exemplo, integraram tecnologias de localização em tempo real (RTLS) a modelos de Simulação de Eventos Discretos (DES) e a uma simulação de Gêmeo Digital, aplicados a uma Learning Factory. O ambiente produtivo foi estruturado a partir de princípios Lean, incluindo VSM, 5S, fluxo e Kanban, enquanto as tecnologias digitais foram empregadas para apoiar o planejamento, controle e monitoramento da produção.

Da mesma forma, Possik et al. (2022) e Wollert et al. (2024) propuseram modelos de simulação e *frameworks* de gerenciamento dinâmico do fluxo de valor para avaliar melhorias antes de sua implementação. Rinaldi et al. (2024), no entanto, aplicaram simulação à análise de cadeias de suprimentos sob a perspectiva LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*). Embora essas abordagens incorporem mudanças na forma de planejamento, monitoramento e controle das operações, seus resultados são geralmente avaliados com base em métricas como *lead time*, estoque em processo, utilização de recursos e nível de serviço, sem uma análise sob a perspectiva da inovação.

Diante dessa lacuna, o presente estudo realiza uma revisão integrativa da literatura com o objetivo de analisar como *Lean Manufacturing* e Simulação de Eventos Discretos são integrados na literatura para diagnosticar, formular, avaliar

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

e implementar mudanças em sistemas produtivos, identificando as principais práticas, contextos de aplicação, resultados e limitações e examinando em que condições as mudanças relatadas podem ser caracterizadas como inovação de processo.

2. Revisão da Literatura

O capítulo atual apresenta os conceitos essenciais para entender a relação entre inovação, *lean manufacturing* e simulação de eventos discretos. O objetivo é oferecer uma base teórica clara que ajude a compreender como esses temas se conectam e sustentam a análise desenvolvida nos próximos capítulos.

2.1 Inovação

A inovação é um dos grandes diferenciais das indústrias atuais para se manterem competitivas e atualizadas. Segundo o Manual de Oslo (OECD/EUROSTAT, 2018), a inovação pode ser caracterizada como a implementação de um produto ou processo de negócio novo ou melhorado. Aprimorar a capacidade de inovação pode contribuir para as empresas reduzirem os custos de produção, aumentarem a produtividade e otimizarem a gestão da cadeia de suprimentos (Zhang et al., 2025).

Em melhorias de processos industriais, é comum encontrarmos dois principais grupos de inovação, as inovações incrementais e as inovações radicais. Conforme apontado por Chen et al. (2024), as inovações radicais estão associadas a um alto grau de novidade, promovendo transformações significativas nos processos por meio do desenvolvimento de novas tecnologias, produtos ou serviços. Esse grupo de inovação tem como característica o potencial de substituir práticas atuais e torná-las obsoletas, criando novas perspectivas para o negócio.

Já as inovações incrementais refletem um grau de novidade menor para a organização, gerando aprimoramentos graduais e contínuos. Embora o impacto no curto prazo seja menor, as inovações incrementais contribuem diretamente

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

para o aumento da competitividade e maior participação do mercado, principalmente quando associadas com outras inovações incrementais (Chen et al., 2024). Ambas as abordagens contribuem para o aprimoramento dos processos produtivos, sendo escolhidas dependendo do investimento necessário da empresa, objetivos estratégicos e necessidade do mercado.

2.2 *Lean manufacturing*

O *lean manufacturing* é uma filosofia de gestão baseada no Sistema Toyota de Produção, cujo foco principal é a eliminação de desperdícios e a otimização dos processos produtivos. Conforme menciona Akinmoye (2024), os desperdícios podem ser caracterizados como todas as atividades que não agregam valor mas adicionam custos ao produto final.

É por meio desses desperdícios que são geradas ineficiências nos processos produtivos, atrasos nas entregas e baixa qualidade dos produtos finais. Dessa forma, Silva et al. (2024) destacam a existência de oito desperdícios presentes na indústria, que devem ser eliminados para que se tenha melhores resultados operacionais. Os oito desperdícios podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1. Caracterização dos oito desperdícios do *lean manufacturing*.

Desperdícios	Descrição
Defeitos e retrabalhos	Produtos com falhas ou com defeitos na utilização
Excesso de produção (superprodução)	Produção além do necessário e maximização dos excessos de problemas de gestão de estoque
Processamento impróprio (excessivo)	Processos desnecessários na produção ou na prestação de um serviço
Movimentos desnecessários	Movimentos inúteis realizados pelos funcionários
Transporte	Deslocamento de estoques, equipamentos, pessoas e matéria-prima por situações desnecessárias
Estoque	Produtos excessivos em estoque

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

Habilidades ou Intelectual	Não aproveitar o potencial dos funcionários
Espera	Demora do aguardo por novos materiais ou pela manutenção de um equipamento

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2024).

Para eliminar os desperdícios é necessário utilizar ferramentas e princípios bem estabelecidos. Segundo Fortes et al. (2024), existem 5 princípios fundamentais adotados pelo LM, sendo eles: mapear o fluxo de valor do processo, identificar as atividades que agregam valor ao cliente, criar fluxos contínuos de produção, adotar sistemas puxados e buscar continuamente a excelência dos processos.

Dentre as diversas ferramentas adotadas pelo LM, o *Kaizen* está diretamente associado à busca de inovações e excelência aos processos produtivos. Essa palavra tem origem japonesa e pode ser traduzida como “mudança para melhor”, trazendo o conceito de melhoria contínua, no qual pequenas melhorias implementadas sistematicamente geram grandes resultados. Por meio do *Kaizen* os profissionais da empresa são encorajados a propor e implementar melhorias constantes na organização, contribuindo diretamente para inovações nos processos produtivos (Fortes et al., 2024).

2.3 Simulação de eventos discretos

A simulação computacional é uma ferramenta versátil e com alto potencial de transformação nas indústrias, auxiliando os profissionais a preverem comportamentos e analisarem os sistemas produtivos utilizando modelos matemáticos ou numéricos. A simulação cria um modelo conceitual do estado atual de um processo e permite ao usuário realizar diferentes experimentos e analisar os resultados das simulações. O principal objetivo é subsidiar dados e números para as tomadas de decisões (Coito et al., 2022).

Dentre as diferentes abordagens de simulação computacional, destaca-se a DES, que é uma ferramenta que permite modelar sistemas complexos com base em eventos discretos, ou seja, possibilita representar processos que

CC BY

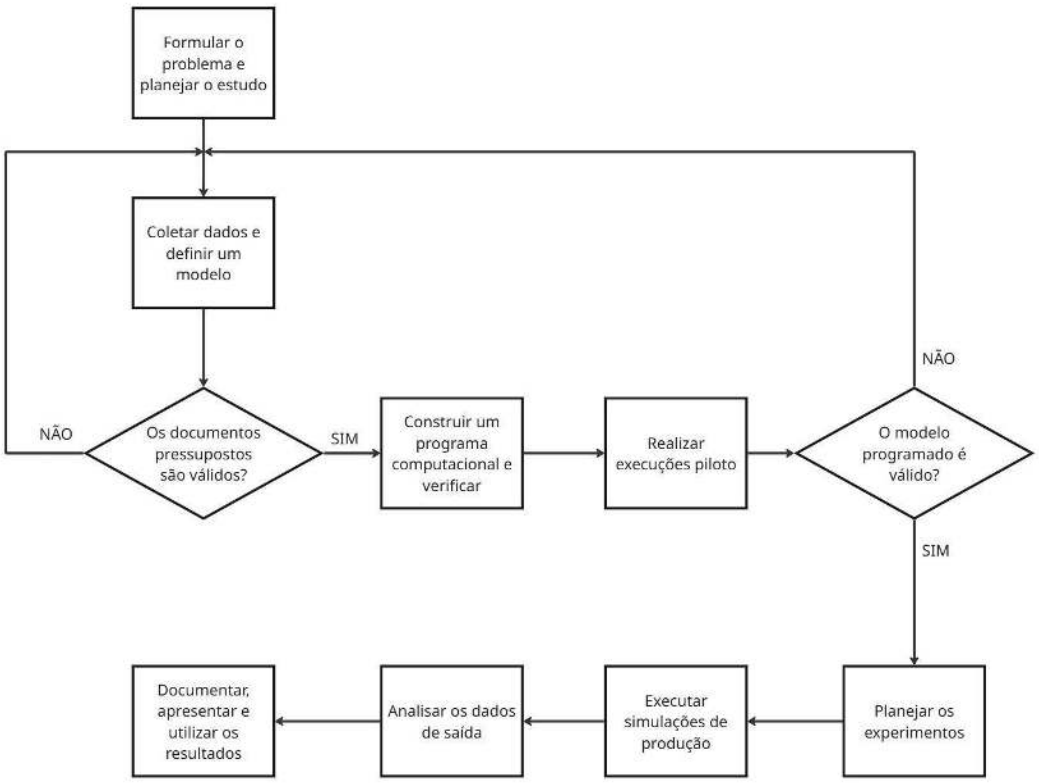
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

envolvem a interação de múltiplas variáveis influenciando o resultado de saída do sistema. A simulação processa os eventos em uma ordem pré-definida, respeitando um conjunto de regras que regem o comportamento do sistema (MONTEVECHI et al., 2007).

Para desenvolver um projeto de simulação computacional é necessário utilizar um método que estabeleça o sequenciamento das atividades envolvidas no estudo. Segundo Law (2015), foram definidas oito etapas fundamentais para gerenciar as diferentes sequências de atividades de um projeto de simulação. A Figura 1 apresenta esse sequenciamento de forma estruturada.

Figura 1. Atividades para um estudo de simulação computacional.



Fonte: Adaptado de Law (2015).

Ao seguir esse sequenciamento, é possível obter um projeto de simulação que contribui diretamente para a inovação de processos, permitindo que

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

profissionais testem e validem suas ideias antes de implantá-las no meio físico. Dessa forma, a DES caracteriza-se como um recurso essencial para empresas que buscam aumentar sua competitividade por meio da inovação e melhorias de processos.

3. Método da pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico. Esse método foi selecionado por permitir a reunião, organização e síntese de estudos com diferentes características metodológicas, possibilitando uma compreensão abrangente sobre a integração entre Lean Manufacturing (LM) e Simulação de Eventos Discretos (Discrete Event Simulation – DES) em sistemas produtivos.

A revisão foi conduzida em etapas que compreenderam: definição do problema de pesquisa; elaboração da estratégia de busca; identificação dos estudos; remoção de duplicatas; avaliação de elegibilidade por meio da leitura do texto completo; extração e categorização dos dados; e síntese e interpretação dos resultados. Para conferir maior transparência ao processo de identificação, triagem e seleção dos estudos, o fluxo foi estruturado com base nas recomendações do protocolo PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa exploratória na base bibliográfica Scopus, com o objetivo de compreender o estado da arte e subsidiar a definição da estratégia de busca. Nessa etapa, foram utilizados os termos “lean” AND “discrete event simulation”, resultando em 113 registros. A análise preliminar desses resultados indicou a ocorrência de estudos relacionados a aplicações não industriais e a diferentes significados do termo lean, levando ao refinamento da estratégia de busca.

Na etapa definitiva, foram consultadas as bases bibliográficas Scopus e Web of Science, complementadas pela plataforma de conteúdo científico ScienceDirect. A utilização desses recursos buscou ampliar a recuperação de estudos relacionados à aplicação conjunta de Lean Manufacturing (LM) e

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

Discrete Event Simulation (DES) em sistemas ou processos produtivos. A ScienceDirect foi considerada uma fonte complementar de conteúdo científico, e não uma base bibliográfica equivalente à Scopus e à Web of Science, em razão de sua função como plataforma de acesso e recuperação de conteúdo científico.

As buscas foram realizadas em dois períodos. O primeiro levantamento foi realizado entre 05 e 15 de outubro de 2025, contemplando estudos publicados entre 2020 e 2024. Nessa etapa, foi utilizada a estratégia de busca "*lean manufacturing*" *AND* ("*discrete event simulation*" *OR* "*discrete-event simulation*"), aplicada aos campos título, resumo e palavras-chave (*Title, Abstract and Keywords*).

Posteriormente, foi realizada uma atualização da busca em 06 de setembro de 2026, com o objetivo de incorporar estudos publicados em 2025. Nessa atualização, foi mantida a estratégia "*lean manufacturing" AND ("discrete event simulation" OR "discrete-event simulation"*), contemplando as variações terminológicas com e sem hífen do termo *discrete event simulation*. A utilização do operador booleano *OR* permitiu recuperar estudos que empregassem qualquer uma das duas formas de escrita do termo, enquanto o operador *AND* assegurou sua associação ao conceito de *Lean Manufacturing*.

As expressões completas utilizadas em cada período, os campos pesquisados, os filtros aplicados e as respectivas datas de execução são apresentados no Quadro 2, permitindo a transparência e a reprodutibilidade do processo de busca.

Quadro 2. Estratégias de busca utilizadas na revisão.

Recurso	**Estratégia de busca**	**Campos(s) pesquisado(s)**	**Filtros aplicados**	**Data da busca**
Scopus	*"lean manufacturing" AND ("discrete event simulation" OR "discrete-event simulation")*	Title, Abstract, and Keywords	2020-2024	05/10/2025 a 15/10/2025
Scopus	*"lean*	Titile, Abstract,	2025	06/09/2026

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

	manufacturing" AND ("discrete event simulation" OR "discrete-event simulation")	and Keywords		
Web of Science	*"lean manufacturing" AND ("discrete event simulation" OR "discrete-event simulation")*	Title, Abstract, and Keywords	2020-2024	05/10/2025 a 15/10/2025
Web of Science	*"lean manufacturing" AND ("discrete event simulation" OR "discrete-event simulation")*	Title, Abstract, and Keywords	2025	06/09/2026
ScienceDirect	*"lean manufacturing" AND ("discrete event simulation" OR "discrete-event simulation")*	Title, Abstract, and Keywords	2020-2024	05/10/2025 a 15/10/2025
ScienceDirect	*"lean manufacturing" AND ("discrete event simulation" OR "discrete-event simulation")*	Title, Abstract, and Keywords	2025	06/09/2026

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A delimitação da busca para publicações em língua inglesa foi adotada em razão da predominância da produção científica internacional sobre Lean Manufacturing, DES e gestão de operações nesse idioma, bem como da necessidade de assegurar condições homogêneas para a análise e comparação dos estudos selecionados. A restrição linguística foi aplicada como critério de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

busca e elegibilidade, não sendo utilizada como indicador da qualidade científica das publicações.

Foram considerados elegíveis estudos que atendessem aos critérios estabelecidos para a revisão, contemplando: (i) estudos científicos submetidos a processo de revisão por pares, publicados em periódicos científicos ou em anais/proceedings de eventos científicos; (ii) publicação em língua inglesa; (iii) publicação no período de 2020 a 2025; (iv) integração entre Lean Manufacturing e Discrete Event Simulation; (v) aplicação das abordagens no estudo; (vi) apresentação de proposição de melhoria; e (vii) aplicação em sistemas ou processos produtivos.

Foram excluídos estudos que não atendessem aos critérios de elegibilidade, especialmente aqueles que apresentassem: (i) ausência de integração entre LM e DES; (ii) ausência de aplicação das abordagens; (iii) ausência de proposição de melhoria; ou (iv) ausência de aplicação em sistemas produtivos. Os registros duplicados foram identificados e removidos antes da etapa de triagem.

A disponibilidade imediata do texto completo não foi considerada um critério científico de elegibilidade. Após a identificação e a triagem inicial, foram realizadas tentativas de recuperação dos textos completos por meios de acesso institucional, bibliotecas, bases disponibilizadas pelas instituições de ensino e outras fontes legítimas, quando necessário. Os registros cujo texto completo não pôde ser recuperado após essas tentativas foram classificados separadamente como textos completos indisponíveis, não sendo considerados estudos cientificamente inelegíveis por essa razão.

Após a identificação dos registros, foi realizada a remoção das duplicatas. Em seguida, os artigos foram submetidos à triagem, considerando sua aderência ao tema e aos critérios estabelecidos. Os estudos potencialmente relevantes seguiram para a avaliação de elegibilidade mediante análise do texto completo. Nessa etapa, foram aplicados integralmente os critérios de elegibilidade, sendo registradas e agrupadas as razões para exclusão.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

A triagem foi realizada independentemente pelos dois primeiros autores. Após a avaliação individual, os resultados foram comparados e, nos casos de concordância, a decisão de inclusão ou exclusão foi mantida. Quando ocorreram divergências, os demais autores participaram da análise até que fosse alcançado consenso quanto à elegibilidade do estudo.

Após a definição dos estudos elegíveis, os dois primeiros autores realizaram a extração e classificação das informações dos estudos selecionados, incluindo setor produtivo, ferramentas e práticas de Lean Manufacturing, categoria temática e características das intervenções identificadas. Eventuais divergências na classificação foram discutidas entre os autores e resolvidas por consenso.

4. Resultados e discussão

Esta seção está organizada para apresentar as análises e resultados derivados da revisão integrativa.

4.1 Caracterização dos estudos selecionados

A aplicação das estratégias de busca na base bibliográfica Scopus, na base bibliográfica *Web of Science* e na plataforma de conteúdo científico *ScienceDirect* resultou inicialmente em 190 registros, sendo 41 registros recuperados na Scopus, 28 na Web of Science e 121 na *ScienceDirect.* Antes da triagem, foram identificados e removidos 20 artigos duplicados, resultando em 170 artigos submetidos à triagem.

Na etapa de triagem, os artigos foram analisados quanto à sua aderência ao tema e aos critérios de elegibilidade estabelecidos. Durante o processo de recuperação dos textos completos, 8 artigos foram classificados como texto completo indisponível e, portanto, não prosseguiram para a etapa de avaliação de elegibilidade. Essa indisponibilidade foi registrada separadamente e não foi considerada, por si só, um critério de inelegibilidade científica. Dessa forma, 162 artigos foram avaliados quanto à elegibilidade.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

Na etapa de avaliação de elegibilidade, 126 artigos foram excluídos por não atenderem aos critérios estabelecidos, sendo 95 por ausência de integração entre Lean Manufacturing e *Discrete Event Simulation* (DES), 15 por não apresentarem aplicação das abordagens, 4 por não apresentarem proposição de melhoria e 12 por não apresentarem aplicação em sistemas produtivos.

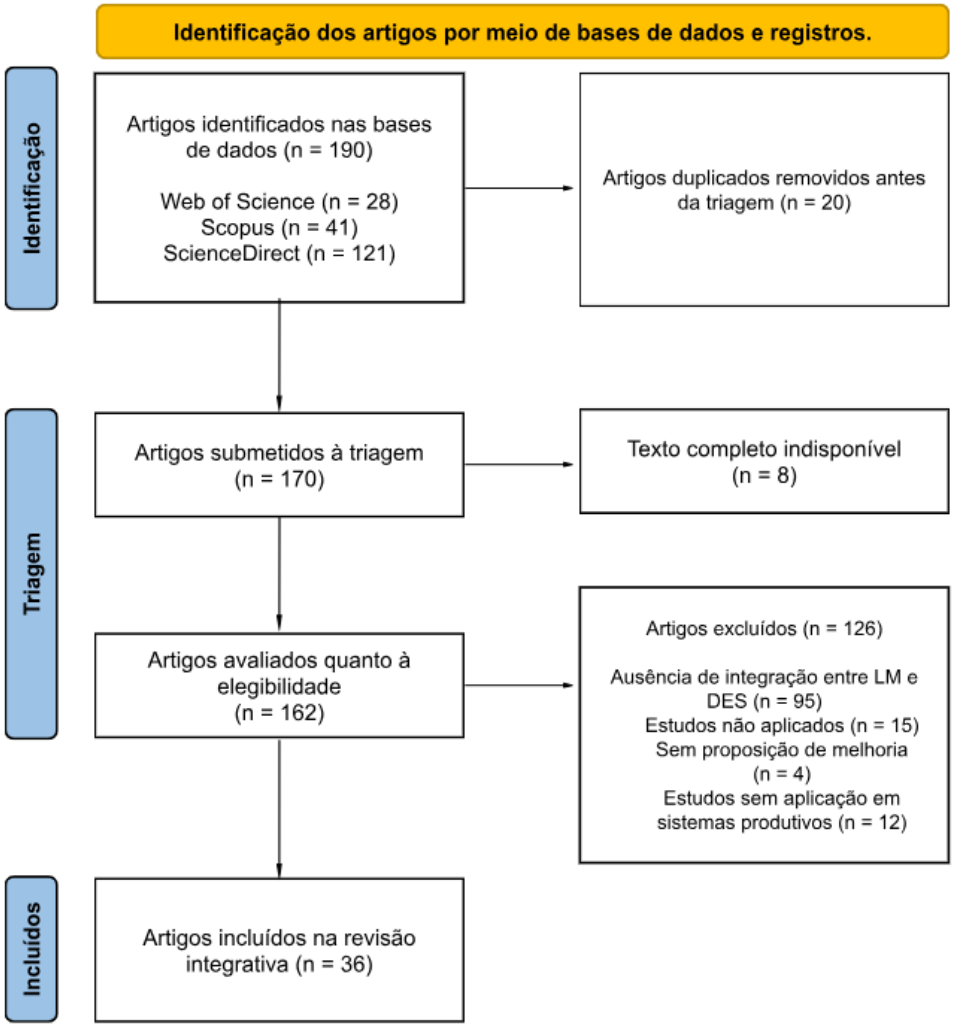
Ao final do processo, 36 artigos foram incluídos na revisão integrativa. A Figura 2 apresenta o fluxo de identificação, triagem, avaliação de elegibilidade e inclusão dos estudos, indicando as respectivas quantidades de artigos e as razões de exclusão em cada etapa. Do total de 36 estudos incluídos, 21 (58,3%) foram publicados em periódicos científicos e 15 (41,7%) em anais de conferências (proceedings).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

Figura 2. Fluxograma de seleção dos estudos incluídos na revisão



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.2 Aplicações da integração entre *lean manufacturing* e Simulação de Eventos Discretos

A integração entre LM e DES tem sido aplicada em diferentes segmentos industriais, sendo utilizada como apoio às iniciativas de melhoria contínua em sistemas produtivos. Observa-se, no entanto, que sua utilização está concentrada em ambientes caracterizados por maior complexidade operacional, elevado grau de automação e maior maturidade tecnológica.

Para compreender seus diferentes contextos de aplicação, os estudos

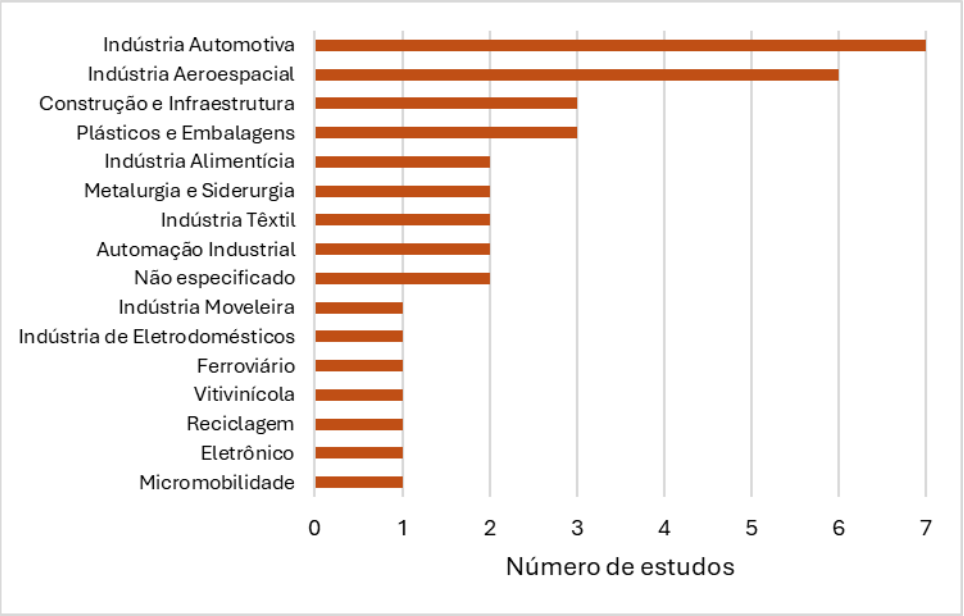
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

foram classificados de acordo com o segmento industrial atendido pelos produtos. Dessa forma, priorizou-se o setor de destino da aplicação, e não o processo produtivo isoladamente. O estudo de Tantanawat et al. (2024), por exemplo, embora desenvolvido em um processo típico de metalurgia, foi classificado como pertencente ao setor automotivo, por tratar da fabricação de componentes destinados à suspensão de veículos. A Figura 3 apresenta a distribuição dos estudos por segmento industrial.

Figura 3. Distribuição dos estudos analisados por segmento industrial e contexto de aplicação atendido.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A Figura 3 mostra maior número de aplicação na Indústria Automotiva (n=7) e Aeroespacial (n=6). A concentração de amostras nesses setores pode estar associada à elevada complexidade técnica dos processos, ao maior investimento em automação e aos custos associados à ocorrência de falhas. Os demais segmentos, no entanto, apresentaram menor representatividade, indicando uma lacuna na literatura relacionada à aplicação conjunta de LM e DES em organizações tradicionais e ou aplicação de ferramentas de melhoria contínua.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

A predominância de aplicações em setores tecnologicamente mais desenvolvidos também pode estar relacionada às próprias características da DES, onde o desenvolvimento de modelos computacionais confiáveis depende da disponibilidade de dados consistentes, de estudos detalhados dos processos produtivos e de equipes capacitadas para modelagem e análise dos cenários simulados. Esse padrão setorial é coerente com a análise por ambiente de implementação, na qual 83% dos estudos (30/36) ocorreram em contexto industrial real, contra apenas 11% em ambiente educacional e 6% em laboratório, sugerindo que, apesar da predominância de organizações industriais reais como cenário de aplicação, a maturidade técnica e de dados dessas organizações também se concentra nos setores de maior complexidade tecnológica identificados acima.

4.3 Estratégias de integração entre *lean manufacturing* e Simulação de Eventos Discretos

A análise dos estudos evidencia que a integração entre LM e DES ocorre por meio de diferentes estratégias, porém apresenta um padrão recorrente de complementaridade entre as abordagens. Os princípios e as ferramentas do LM são empregados principalmente na compreensão do estado atual, na identificação de desperdícios e na definição das mudanças a serem avaliadas. A DES, por sua vez, representa o comportamento dinâmico do processo e permite testar essas mudanças antes de sua implementação. Essa divisão de funções não estabelece uma sequência obrigatória, mas revela uma forma recorrente de articulação entre as abordagens.

Entre as práticas e ferramentas de LM identificadas nos estudos, destacam-se o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), presente em 20 trabalhos, a produção puxada, identificada em 13, o *Kanban*, identificado em 12 e o *Just in Time* (JIT), utilizado em 11 estudos. Como um mesmo trabalho pode empregar mais de uma prática ou ferramenta, essas frequências não são excludentes. A distribuição completa é apresentada na Figura 4.

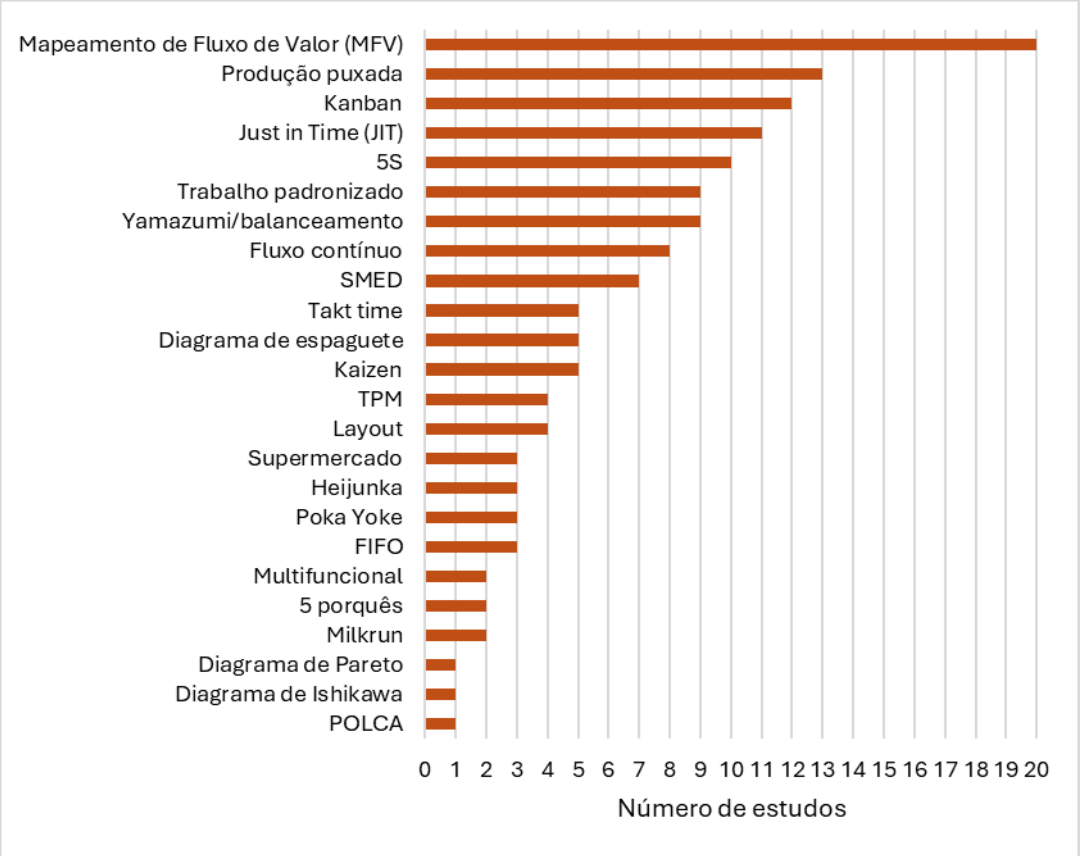
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

O MFV foi a ferramenta mais recorrente entre os estudos analisados. Nos estudos de Ferreira et al. (2022), Heravi et al. (2020) e Kaiser et al. (2020), sua associação com a DES está relacionada às diferentes formas pelas quais as duas abordagens representam o processo. O MFV permite a compreensão do estado atual do processo, identificação de desperdícios e visualização de oportunidades de melhoria. A DES amplia essa análise ao representar o comportamento dinâmico do sistema e as variações que ocorrem ao longo do tempo, como interações entre recursos, filas, estoques e operações. O uso do MFV está associado também às mudanças propostas no mapa do estado futuro, que através da DES podem ser avaliadas em diferentes condições antes de serem aplicadas no processo real.

Figura 4. Práticas, ferramentas, princípios e mecanismos *Lean* identificados.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

A aplicação de produção puxada, JIT e *kanbans* também são frequentes nos estudos analisados. A adoção dessas práticas pode modificar os níveis de estoque em processo, a utilização dos recursos, o fluxo de materiais e a capacidade de atendimento à demanda. Como os efeitos não permanecem restritos a uma única operação, alterações locais podem repercutir em outras etapas do fluxo. Nos trabalhos de Afy-Shararah et al. (2022), Korchagin et al. (2022) e Renteria-Marquez et al. (2020), a simulação foi empregada para examinar essas interações e comparar diferentes configurações do sistema.

Esse resultado mostra que a DES é particularmente útil quando as propostas de LM envolvem alterações sistêmicas. Aspectos como variabilidade dos tempos de processamento, disponibilidade de recursos, falhas, formação de filas, estoques intermediários e dependências entre operações dificilmente são avaliados apenas por representações estáticas. Ao incorporar esses elementos, a simulação fornece informações adicionais sobre os efeitos das melhorias e reduz a dependência de estimativas isoladas para a escolha das alternativas.

Os estudos analisados também utilizaram diferentes *softwares* para o desenvolvimento dos modelos de simulação, conforme apresentado na Tabela 1. Arena foi o *software* mais recorrente, identificado em oito estudos, seguido pelo AnyLogic e Plant Simulation, presentes em seis trabalhos. As demais plataformas foram utilizadas em no máximo dois dos estudos analisados.

Tabela 1. *Softwares* utilizados para aplicação da Simulação de Eventos Discretos nos estudos analisados.

Software	**Número de estudos**	**Estudos**
Arena	8	Sundararajan & Terkar (2022), Heravi et al. (2020), Heravi et al. (2021), Mullisa & Abdul-Kader (2023), Wollert et al. (2024), Velázquez-Serrano et al. (2025), Carbajal-Macedo et al. (2025), Hsu et al. (2025)
AnyLogic	6	Katsigiannis et al. (2024), Iyer et al. (2023), de Paula Ferreira et al. (2022), Afy-Shararah & Salonitis (2022), Korchagin et al. (2022), Seyyedrezaei & Alvandi (2023)

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

Plant Simulation	6	Eberlein & Freitag (2022), Tantanawat et al. (2024), Kaiser et al. (2020), Eberlein et al. (2021), Azzolini Junior et al. (2025), Cardini et al. (2025)
Não informado	4	Thenarasu et al. (2024), Almanei et al. (2022), Eberlein & Freitag (2023), Wolf et al. (2022)
Simio	2	Renteria-Marquez et al. (2020), Baumer-Cardoso et al. (2020)
Simphony	2	Afifi et al. (2022), Martinez & Ahmad (2021)
Bizagi Process Modeler	1	Abbes et al. (2022)
FlexSim	2	Miqueo et al. (2023), Weerapperuma et al. (2025)
Enterprise Dynamics (ED)	1	Nujoom et al. (2023)
JaamSim	1	Possik et al. (2022)
Microsoft Excel	1	Rinaldi et al. (2024)
WITNESS	1	Pattanaik (2021)
PROMODEL	1	Félix-Jácquez et al. (2025)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A diversidade de plataformas identificadas demonstra que a integração entre LM e DES não possui um *software* predominante. Embora Arena, AnyLogic e Plant Simulation tenham apresentado maior frequência, as demais aplicações estão distribuídas entre diferentes recursos computacionais. Independentemente da plataforma utilizada, os modelos foram desenvolvidos principalmente para representar os processos, testar cenários e produzir informações para a comparação das alternativas de melhoria.

Em quatro estudos (11,1%) o *software* utilizado não foi informado. Essa ausência de informação reduz a transparência quanto aos procedimentos empregados e dificulta a reprodução das aplicações. Esse resultado demonstra que a descrição do ambiente computacional, as configurações utilizadas e as etapas de construção do modelo constituem um aspecto metodológico que precisa ser apresentado com maior clareza nas pesquisas que empregam DES.

A análise dos estudos permitiu organizar as funções de LM e DES em seis

CC BY

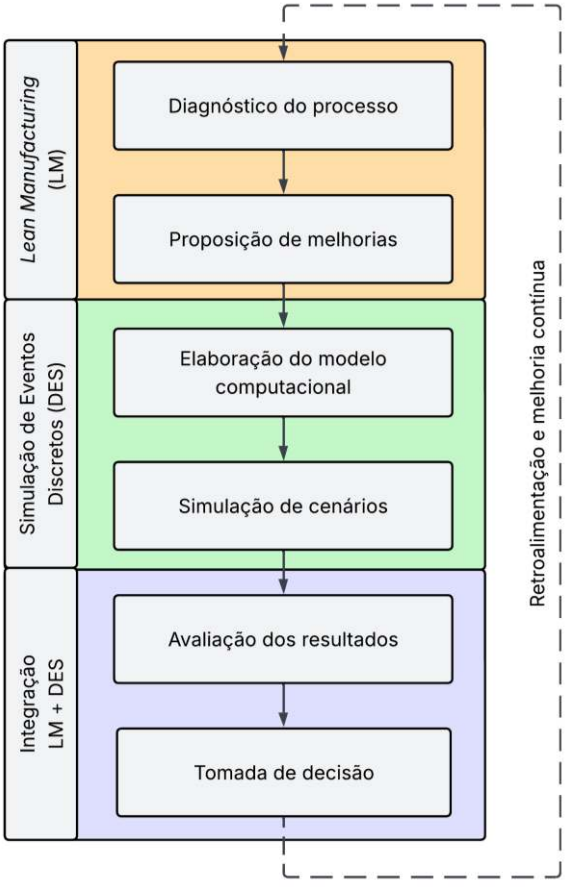
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

etapas principais. O LM apresenta maior participação no diagnóstico do processo e na proposição das melhorias. A DES concentra-se na modelagem do sistema e na experimentação das alternativas. Já na etapa de avaliação dos cenários e tomada de decisão, as duas abordagens são utilizadas de forma integrada, pois os resultados da simulação são interpretados de acordo com os objetivos definidos para a melhoria, baseados nos princípios do LM. Essa organização observada nos estudos é sintetizada na Figura 5.

A Figura 5 não representa um procedimento rígido ou necessariamente linear. Sua finalidade é indicar as funções que aparecem com maior frequência na literatura, com base nos artigos analisados. Em algumas aplicações, os resultados obtidos na simulação levam à revisão do diagnóstico ou à reformulação das melhorias propostas, estabelecendo um processo iterativo entre LM e DES.

Figura 5. Integração entre LM e DES na melhoria de sistemas produtivos.



CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A síntese apresentada evidencia que a integração entre LM e DES não depende da utilização simultânea das duas abordagens em todas as etapas, mas da articulação entre suas funções ao longo do processo de melhoria. Essa complementaridade permite estabelecer uma sequência lógica entre a identificação de oportunidades, a proposição de mudanças e a avaliação antecipada de seus possíveis efeitos sobre o sistema produtivo. Assim, o valor da integração está não apenas na utilização conjunta de LM e DES, mas na forma como as contribuições de cada abordagem se articulam para apoiar o processo de melhoria dos sistemas produtivos.

A transição do diagnóstico do LM para a experimentação por DES envolve requisitos que podem limitar a aplicação dessa estratégia. Um deles é o esforço necessário para construir e validar o modelo. Conforme aumenta o número de tarefas, estoques, recursos e relações de dependência dos processos, também cresce a demanda por modelagem, calibração e processamento dos cenários (Eberlein et al., 2023). Esse trabalho requer profissionais especializados, capazes de compreender o processo real e representá-lo adequadamente no ambiente de simulação (KAISER; ZIMMERMANN; METTERNICH, 2020).

Outro requisito está relacionado aos dados, Heravi et al. (2020) destacam dificuldades na obtenção de informações precisas no ambiente produtivo. Wolf et al. (2022) demonstram que mesmo sistemas de coleta em tempo real podem produzir ruídos, interferências e registros incorretos. Como os resultados da DES dependem dos parâmetros utilizados na construção e na alimentação do modelo, falhas na disponibilidade, precisão ou atualização dos dados podem reduzir a correspondência entre a simulação e o sistema real. Aplicações pouco conectadas a fontes automatizadas também exigem a inserção manual de parâmetros, aumentando o esforço de atualização dos modelos (Wollert; Al-Aomar; Behrend, 2024).

O tempo necessário para preparar o modelo e testar diferentes configurações constitui outra limitação, principalmente em ambientes que

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

demandam respostas rápidas (Pattanaik, 2021). A quantidade de cenários precisa ser compatível com os recursos disponíveis e com o objetivo da análise, evitando níveis de detalhamento que aumentem o esforço computacional sem produzir informações úteis para a decisão.

Por fim, a qualidade da integração depende da relação estabelecida entre o diagnóstico do processo e a construção do modelo. Ferreira et al. (2022) alertam que a incorporação de tecnologias ou a automação de processos ineficientes, quando realizadas sem uma análise prévia orientada pelos princípios de LM, podem ampliar os desperdícios já existentes. A aplicação conjunta das abordagens requer, portanto, dados confiáveis, capacidade de modelagem e uma compreensão do processo que permita selecionar quais elementos e propostas devem ser representados na simulação.

4.4 Contribuições da integração entre LM e DES para a inovação em sistemas produtivos

Após a análise dos estudos selecionados, foram identificadas diferentes intervenções de melhoria associadas à integração entre Lean Manufacturing (LM) e Simulação de Eventos Discretos (DES). Considerando a distinção entre mudanças efetivamente implementadas e alternativas apenas propostas ou avaliadas por meio de simulação, os estudos foram analisados quanto à natureza das intervenções e ao seu status de implementação. Dessa forma, a análise não pressupõe que toda melhoria proposta ou avaliada por simulação constitua, necessariamente, uma inovação implementada.

Na maioria dos artigos, as intervenções não foram denominadas explicitamente como inovações. Os autores concentraram a apresentação dos resultados em indicadores como produtividade, eficiência, *lead time*, estoque em processo e utilização dos recursos. A classificação realizada nesta revisão considerou, portanto, a natureza da mudança introduzida no sistema produtivo, e não apenas a terminologia empregada pelos estudos.

Para fins desta revisão, uma intervenção foi classificada como incremental

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

quando promoveu aprimoramentos localizados em processos, práticas ou tecnologias já existentes no sistema produtivo, como ajustes de *layout*, redefinição de regras de controle ou introdução de mecanismos de monitoramento, sem alterar a natureza fundamental do sistema, do produto ou do modelo de negócio da organização. Seria classificada como radical uma intervenção que introduzisse tecnologia, processo ou modelo de negócio substancialmente novo à organização, com potencial de tornar obsoletas as práticas anteriores (Chen et al., 2024). Aplicando esse critério ao corpus analisado, nenhum dos 36 estudos apresentou evidências de ruptura estrutural compatível com inovação radical. Todas as intervenções identificadas mantêm relação direta de continuidade com os processos, tecnologias e capacidades já existentes nas organizações estudadas, o que justifica sua caracterização como predominantemente incrementais.

Para caracterizar objetivamente essa distinção, cada estudo foi classificado quanto ao seu status de implementação, segundo a exigência de uso efetivo estabelecida pelo Manual de Oslo (OECD/Eurostat, 2018). A Tabela 2 apresenta essa distribuição.

A maioria dos estudos (88,9%) corresponde a propostas avaliadas exclusivamente por simulação, sem evidência de implantação operacional. Apenas um estudo (Abbes et al., 2022) relata implementação real, com coleta de dados de desempenho vinte semanas após a mudança. Três estudos correspondem a pilotos-experimento, nos quais parte da intervenção foi testada fisicamente antes de uma implantação completa (Iyer, Sangwan & Dhiraj, 2023; Carbajal-Macedo et al., 2025; Wolf et al., 2022).

Tabela 2. Status de implementação dos estudos analisados.

Status de implementação	Estudos	Porcentagem
Proposta simulada	32	88,9%
Piloto-experimento	3	8,3%
Implementação real	1	2,8%

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

A partir da natureza das mudanças identificadas, os estudos foram classificados em quatro categorias: (I) configuração e melhoria dos processos produtivos; (II) logística interna e abastecimento; (III) planejamento, controle e gestão da produção; e (IV) digitalização, automação e suporte à decisão. A Figura 6 apresenta a distribuição dos estudos entre essas categorias.

As quatro categorias de inovação não são mutuamente exclusivas, de modo que um mesmo estudo pode apresentar intervenções enquadradas simultaneamente em mais de uma dimensão. Para fins de síntese na Figura 6, cada estudo foi associado a uma categoria predominante, definida como a intervenção identificada pelos próprios autores do estudo original como seu principal resultado ou contribuição. Elementos secundários de apoio, como recursos de digitalização mencionados de forma complementar ao contexto da intervenção, sem constituírem seu foco central, não foram considerados para a definição da categoria predominante.

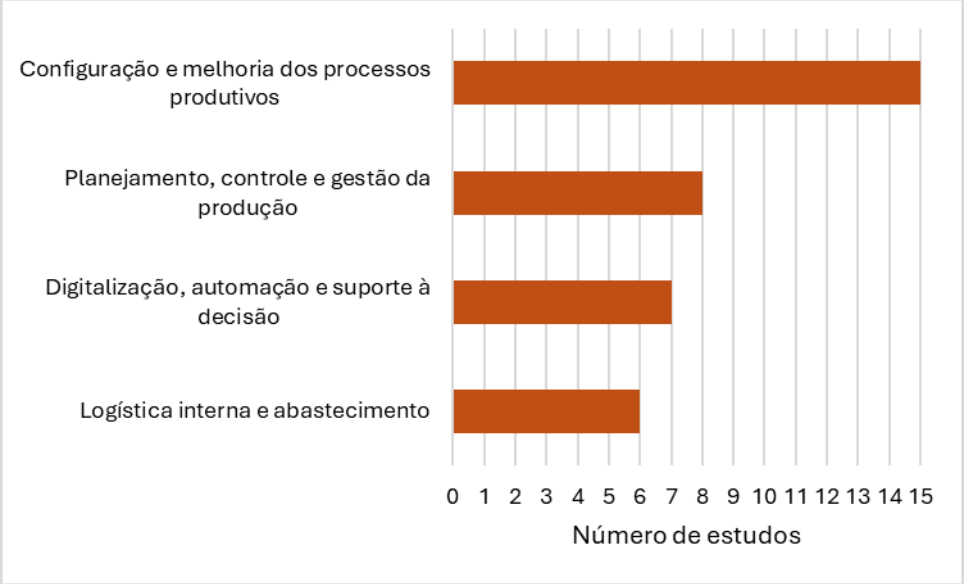
A categoria configuração e melhoria dos processos produtivos reúne intervenções relacionadas à reorganização física e operacional dos sistemas, incluindo alterações de *layout*, balanceamento de linhas, redefinição de postos de trabalho, eliminação de atividades que não agregam valor e mudanças na utilização dos recursos produtivos. Sundararajan et al. (2022), por exemplo, promoveram alterações no processo de fabricação de fixadores que resultaram em aumento de 116% na produção. Tantanawat et al. (2024) redesenharam as atividades e realizaram o balanceamento de uma linha, elevando sua eficiência de 53% para 79% e reduzindo o número de operadores de oito para quatro. Mullisa et al. (2023), por sua vez, reorganizaram o processo em uma configuração de manufatura celular em “U”, obtendo redução de 58% no *lead time* e de 51,7% no custo do produto.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

Figura 6 - Distribuição dos estudos segundo o foco da inovação incremental.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

As intervenções relacionadas ao planejamento, controle e gestão da produção envolvem mudanças nas regras, políticas e métodos utilizados para organizar e controlar os sistemas produtivos, incluindo nivelamento da produção, definição de lotes, *takt time* e políticas de produção puxada. Katsigiannis et al. (2024), por exemplo, avaliaram uma configuração baseada em *Heijunka Box* e *Kanban*, obtendo redução de 47,37% no *lead time* e de até 56,73% no WIP. Renteria-Márquez et al. (2020), por sua vez, utilizaram a simulação para avaliar diferentes tamanhos de lote e identificar uma configuração capaz de reduzir o *lead time* e o WIP, mantendo a estabilidade do sistema e o atendimento à demanda. Nesses casos, a inovação está relacionada principalmente à redefinição das regras que orientam o funcionamento do sistema, enquanto a DES permite antecipar as consequências das diferentes alternativas de gestão.

A categoria logística interna e abastecimento contempla mudanças relacionadas ao fluxo de materiais e às estratégias utilizadas para suprir os processos produtivos, incluindo sistemas puxados de abastecimento, políticas de reabastecimento, *milkruns*, *mizusumashi*, *picking*, separação de kits e mecanismos de controle do estoque em processo. Em linhas de montagem

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

aeroespaciais, Eberlein et al. (2022) reportaram redução de 37% no WIP após mudanças no fluxo de abastecimento e no planejamento da produção, enquanto Eberlein et al. (2021) obtiveram redução de 78% no WIP com a adoção de um sistema puxado. Nesses casos, a DES foi utilizada para comparar alternativas de abastecimento em condições difíceis de testar diretamente no sistema real.

A categoria digitalização, automação e suporte à decisão reúne estudos em que as mudanças estão relacionadas à ampliação das capacidades de monitoramento, análise, experimentação ou controle dos sistemas produtivos. As aplicações identificadas incorporam recursos como Gêmeos Digitais, sensores IIoT, sistemas de localização em tempo real, b*ig data*, manutenção preditiva e estruturas avançadas de modelagem e co-simulação. Afy-Shararah e Salonitis (2022) e Wollert et al. (2024) demonstram como a integração entre recursos digitais e práticas do LM pode tornar os processos de melhoria mais dinâmicos, mensuráveis e adaptáveis. Outros estudos, como os de Wolf et al. (2022) e Eberlein e Freitag (2023), relacionam essa integração à ampliação da transparência dos fluxos e à automação de mecanismos de controle da produção, evidenciando uma aproximação entre a melhoria contínua e as tecnologias associadas à digitalização dos sistemas produtivos.

É importante distinguir a mudança proposta ou avaliada da inovação efetivamente realizada. De acordo com essa perspectiva, uma alternativa avaliada exclusivamente por meio de simulação não deve ser automaticamente classificada como uma inovação implementada. Da mesma forma, reduções de lead time, WIP, custos, consumo energético ou emissões, assim como aumentos de produtividade e eficiência, representam efeitos mensuráveis ou estimados das intervenções e não constituem, isoladamente, evidência de inovação. A classificação das intervenções considerou, portanto, a natureza da mudança e, quando informado pelos estudos, seu efetivo uso ou implementação no sistema produtivo.

Essa distinção também se relaciona à qualidade metodológica dos modelos de simulação empregados, avaliada a partir de quatro indicadores: uso

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

de dados empíricos de entrada, verificação do modelo, validação estatística formal e número de replicações informado. A Tabela 3 sintetiza esses resultados.

Tabela 3. Indicadores de qualidade metodológica dos modelos de Simulação de Eventos Discretos.

Indicador	Estudos	Porcentagem
Dados empíricos de entrada	29	80,6%
Verificação do modelo relatada	14	38,9%
Validação estatística formal	2	5,6%
Replicações informadas	11	30,6%

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Observou-se que, embora a maioria dos estudos (80,6%) utilize dados empíricos de entrada, apenas 2 estudos (5,6%) apresentam validação estatística formal entre os resultados simulados e o sistema real, como aplicação de testes de Kolmogorov-Smirnov, testes t ou intervalos de confiança comparando dados observados e simulados. O número de replicações independentes é informado em 11 casos (30,6%), e a verificação do modelo é relatada explicitamente em apenas 14 estudos (38,9%). Esses resultados indicam que, embora a maior parte dos estudos analisados fundamente seus modelos em dados reais, poucos demonstram formalmente a aderência entre o comportamento simulado e o sistema produtivo real, o que reforça a necessidade de maior rigor e transparência metodológica em pesquisas futuras que integrem LM e DES.

No conjunto analisado, as intervenções estiveram associadas a mudanças na configuração dos processos, nos sistemas de abastecimento, nas regras de gestão da produção e nos mecanismos de monitoramento e decisão. O LM orientou a definição de práticas e oportunidades de melhoria, enquanto a DES foi empregada para representar o comportamento do sistema e comparar alternativas.

Assim, a contribuição da integração entre as abordagens não está necessariamente na geração de uma inovação implementada em todos os casos, mas na capacidade de apoiar a identificação, avaliação e seleção de mudanças

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

nos sistemas produtivos. Os resultados indicam, portanto, que a integração entre LM e DES apresenta maior evidência como mecanismo de apoio à inovação e à melhoria de processos do que como garantia de ocorrência de uma inovação implementada.

5. Considerações finais

A presente revisão integrativa permitiu analisar como a integração entre LM e DES tem contribuído para a inovação em sistemas produtivos. A análise dos estudos demonstra que essa contribuição ocorre principalmente pela complementaridade entre as duas abordagens: enquanto os princípios e ferramentas do LM orientam a compreensão dos processos, a identificação de desperdícios e a proposição de melhorias, a DES amplia a capacidade de experimentar virtualmente essas mudanças, comparar cenários e antecipar seus possíveis efeitos antes da implementação no ambiente produtivo.

Nesse sentido, a principal contribuição da integração está na construção de um processo de melhoria fundamentado para a tomada de decisão. A DES amplia a capacidade analítica das iniciativas de LM ao possibilitar a representação do comportamento dinâmico e das interações existentes nos sistemas produtivos, permitindo que as melhorias propostas sejam avaliadas sob diferentes condições. Dessa forma, a integração contribui para reduzir as incertezas e os riscos associados à implementação de mudanças, fornecendo evidências para apoiar a escolha entre diferentes alternativas de melhoria.

Os resultados demonstraram que as intervenções identificadas apresentam predominantemente características de melhoria incremental, no sentido de decorrerem da identificação e do refinamento sistemático de aspectos específicos dos sistemas produtivos, e não de rupturas estruturais nos processos. Entretanto, essa caracterização não deve ser confundida com a afirmação de que tais intervenções constituem inovações de processo efetivamente realizadas. Do total de 36 estudos analisados, 32 (88,9%) correspondem a propostas de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

melhoria avaliadas exclusivamente por simulação, sem evidência de uso operacional; 3 (8,3%) constituem pilotos-experimento, nos quais parte da mudança foi testada fisicamente antes de uma implantação completa; e apenas 1 estudo (2,8%) relata implementação real, com desempenho medido após a mudança entrar em uso.

Segundo a definição de inovação de processo adotada nesta revisão (OECD/Eurostat, 2018), apenas esse último caso pode ser caracterizado com segurança como inovação efetivamente realizada, os demais devem ser compreendidos como propostas de melhoria ou atividades orientadas à inovação, cuja consolidação depende de decisões e processos que extrapolam o escopo da maioria dos estudos analisados.

As intervenções analisadas envolveram diferentes dimensões dos sistemas produtivos: configuração e melhoria dos processos (15 estudos, categoria predominante), planejamento, controle e gestão da produção (8), digitalização, automação e suporte à decisão (7) e logística interna e abastecimento (6). Como discutido na Seção 4.4, essas categorias não são mutuamente exclusivas, muitos estudos combinam intervenções em mais de uma dimensão simultaneamente, mas essa distribuição evidencia que a integração entre LM e DES não está restrita à melhoria de indicadores operacionais específicos, podendo apoiar mudanças na organização dos fluxos, nas políticas de controle e nas tecnologias utilizadas para monitorar e gerenciar os processos produtivos.

Observou-se, contudo, que a aplicação dessa integração não ocorre de forma homogênea entre os diferentes segmentos industriais nem entre os contextos de aplicação. Há uma maior concentração de estudos nas indústrias automotiva e aeroespacial, e a grande maioria das aplicações (30 de 36, 83%) ocorreu em ambiente industrial real, enquanto uma parcela menor foi conduzida em *Learning Factories* ou ambientes educacionais (4 estudos, 11%) e em cenários exclusivamente laboratoriais ou sintéticos (2 estudos, 6%). Esses achados sugerem que a disponibilidade de dados e a infraestrutura tecnológica

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

favorecem a adoção da DES em conjunto com práticas de LM. Em contrapartida, a menor representatividade de setores industriais tradicionais evidencia oportunidades para investigar a aplicação dessas abordagens em ambientes com menor grau de digitalização.

A expansão dessa integração também depende da superação de desafios relacionados a complexidade da modelagem, disponibilidade e qualidade dos dados e necessidade de profissionais capacitados para desenvolver modelos computacionais confiáveis. Além disso, os resultados evidenciam que a efetividade da integração não depende apenas da utilização de ferramentas do LM ou de *softwares* de simulação, mas da articulação coerente entre o diagnóstico do sistema, a proposição das melhorias e a representação dos elementos relevantes no modelo. A simulação de processos ineficientes ou a utilização de modelos que não representem adequadamente o sistema pode limitar a qualidade das alternativas avaliadas e, consequentemente, das decisões apoiadas por seus resultados.

Como oportunidades para pesquisas futuras, sugere-se ampliar a investigação da integração entre LM e DES em setores industriais ainda pouco representados na literatura, especialmente em organizações com menor grau de digitalização. Também se mostra relevante investigar como tecnologias de coleta automatizada de dados, sistemas ciberfísicos, Internet Industrial das Coisas e Gêmeos Digitais podem reduzir o esforço de construção e atualização dos modelos de simulação. Por fim, identifica-se como oportunidade o desenvolvimento e a validação de um *framework* que oriente as organizações na integração entre LM e DES, considerando requisitos relacionados à maturidade dos processos, disponibilidade de dados, competências profissionais e infraestrutura tecnológica.

Conclui-se, portanto, que a integração entre LM e DES contribui para o desenvolvimento de inovações em sistemas produtivos ao combinar a capacidade do LM de identificar e orientar oportunidades de melhoria com a capacidade da DES de experimentar e avaliar antecipadamente seus possíveis

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

efeitos. Mais do que uma ferramenta para comprovar ganhos operacionais, essa integração estabelece um processo estruturado de aprendizagem e experimentação que pode tornar a implementação de melhorias mais fundamentada e menos dependente de decisões baseadas exclusivamente em tentativa e erro. Seu avanço, contudo, depende da ampliação das competências de modelagem, da disponibilidade de dados confiáveis e da adaptação dessas abordagens a diferentes níveis de maturidade tecnológica e contextos industriais.

Referências

ABBES, N.; SEJRI, N.; JAOUACHI, B.; CHEIKHROUHOU, M. An Integrated Lean Six Sigma Approach to Modeling and Simulation: A Case Study from Clothing SME. **AUTEX Research Journal**, vol. 22, nº. 3, p. 305–311, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.2478/aut-2021-0028.

AFIFI, M.; FOTOUH, A.; AL-HUSSEIN, M.; ABOURIZK, S. Integrated lean concepts and continuous/discrete-event simulation to examine productivity improvement in door assembly-line for residential buildings. **International Journal of Construction Management**, vol. 22, nº. 13, p. 2423–2434, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1793075.

AFY-SHARARAH, M.; SALONITIS, K. Integrated modeling of “soft” and “hard” variables in manufacturing. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, vol. 122, nº 11–12, p. 4259–4265, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00170-022-09872-z.

AKINMOYE, O. Analysis of lean manufacturing waste in the process flow of ready-to-wear garment production in Nigeria. **AUTEX Research Journal**, vol. 24, nº. 1, p. 1–8, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1515/aut-2023-0052.

ALMANEI, M.; OLEGHE, O.; AFY-SHARARAH, M.; SALONITIS, K. Implementing Pull Manufacturing in Make-To-Order Environments. **Advances in Transdisciplinary Engineering**, vol. 25, p. 334–341, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3233/ATDE220613.

AZZOLINI JUNIOR, W.; SANTOS, C. H.; ROMANO, A. L.; SALLES, H. O.; PALMA, J. M.; AUGUSTO FILHO, R. T. Integration of simulation and hierarchical approach to support lean implementation. **International Journal of Simulation Modelling**, vol. 24, nº. 1, p. 111--122, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.2507/IJSIMM24-1-719.

BAUMER-CARDOSO, M. I.; CAMPOS, L. M. S.; SANTOS, P. P. P.; FRAZZON, E. M. Simulation-based analysis of catalyzers and trade-offs in Lean & Green manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, vol. 242, p. 118411, 2020.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118411.

CARBAJAL-MACEDO, J. V.; SERRANO-ROSSADO, G. N.; CHAVEZ-UGAZ, R.; LEON-CHAVARRI, C. C. Integrated lean operational model to increase efficiency in a winery company. In: LACCEI INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE ON ENTREPRENEURSHIP, INNOVATION AND REGIONAL DEVELOPMENT, 5., 2025, evento virtual. **Proceedings**. [S. l.]: LACCEI, 2025. p. 1--6. Disponível em: https://doi.org/10.18687/LEIRD2025.1.1.792.

CARDINI, S.; MARCHI, B.; LANZINI, M.; ZANONI, S.; FRAZZON, E. M. Proposition of a simulation-based approach for production balancing. **IFAC-PapersOnLine**, vol. 59, nº. 10, p. 494--499, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2025.09.085.

CHEN, X.; XIE, H.; ZHOU, H. Incremental versus Radical Innovation and Sustainable Competitive Advantage: A Moderated Mediation Model. **Sustainability**, vol. 16, nº. 11, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su16114545.

COITO, T.; FARIA, P.; MARTINS, M. S. E.; FIRME, B.; VIEIRA, S. M.; FIGUEIREDO, J.; SOUSA, J. M. C. Digital Twin of a Flexible Manufacturing System for Solutions Preparation. **Automation**, vol. 3, nº. 1, p. 153–175, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/automation3010008.

DU, J.; ZHANG, J.; CASTRO-LACOUTURE, D.; HU, Y. Lean manufacturing applications in prefabricated construction projects. **Automation in Construction**, vol. 150, p. 104790, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104790.

EBERLEIN, S.; FREITAG, M. A pull principle for the material supply of low-volume mixed-model assembly lines. **Procedia CIRP**, vol. 107, p. 1385–1390, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.162.

EBERLEIN, S.; FREITAG, M. Pull control of material supply for low-volume assembly lines: a reorder point method for aerospace manufacturing. **Procedia CIRP**, vol. 120, p. 1612–1617, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.12.004.

EBERLEIN, S.; SCHUKRAFT, S.; FREITAG, M. Simulation-based Design of a Pull Material Supply System for Low Volume Unpaced Assembly Lines: A Case Study in the Aerospace Industry. **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2021**, 2021. p. 853–857. Disponível em: https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9673042

FÉLIX-JÁCQUEZ, R. H.; HERNÁNDEZ-URIBE, Ó.; CÁRDENAS-ROBLEDO, L. A.; MORA-ALVAREZ, Z. A. Design of a remanufacturing line applying lean manufacturing and supply chain strategies. **Logistics**, vol. 9, nº. 1, art. 33, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/logistics9010033.

FERREIRA, W. de P.; ARMELLINI, F.; DE SANTA-EULALIA, L. A.;

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

THOMASSET-LAPERRIÈRE, V. Extending the lean value stream mapping to the context of Industry 4.0: An agent-based technology approach. **Journal of Manufacturing Systems**, vol. 63, p. 1–14, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.02.002.

FORTES, J. C.; COLPANI, G. L.; ZANELLA, C.; DALCANTON, F. Implementação de práticas lean manufacturing para otimização do processo produtivo de rações em uma agroindústria. **Navus – Revista de Gestão e Tecnologia**, vol. 14, p. 1–26, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.22279/navus.v14.2038.

HERAVI, G.; KEBRIA, M. F.; ROSTAMI, M. Integrating the production and the erection processes of pre-fabricated steel frames in building projects using phased lean management. **Engineering, Construction and Architectural Management**, vol. 28, nº 1, p. 174–195, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2019-0133.

HERAVI, G.; ROSTAMI, M.; KEBRIA, M. F. Energy consumption and carbon emissions assessment of integrated production and erection of buildings' pre-fabricated steel frames using lean techniques. **Journal of Cleaner Production**, vol. 253, p. 120045, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120045.

HSU, H.-P.; WANG, C.-N.; VO, T. T. B. C.; NGUYEN, N. T. Enhancing productivity and inventory management in aquatic processing through a comprehensive lean manufacturing framework. **International Journal of Quality & Reliability Management**, vol. 42, nº. 10, p. 2675--2713, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2024-0134.

IYER, S. V.; SANGWAN, K. S.; DHIRAJ. Digitalization: a tool for the successful long-term adoption of lean manufacturing. **Procedia CIRP**, vol. 116, p. 245–250, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.042.

KAISER, J.; ZIMMERMANN, S.; METTERNICH, J. Logistic decisions in value stream design: A case study. **Procedia CIRP**, vol. 93, nº March, p. 640–645, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.117.

KATSIGIANNIS, M.; PANTELIDAKIS, M.; MYKONIATIS, K. Assessing the transition from mass production to lean manufacturing using a hybrid simulation model of a LEGO® automotive assembly line. **International Journal of Lean Six Sigma**, vol. 15, nº 2, p. 220–246, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1108/IJLSS-07-2022-0165.

KORCHAGIN, A.; DENISKIN, Y.; POCEBNEVA, I.; VASILYEVA, O. Lean Maintenance 4.0: implementation for aviation industry. **Transportation Research Procedia**, vol. 63, p. 1521–1533, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.164.

LAW, A. M. **Simulation Modeling and Analysis**. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

MARTINEZ, P.; AHMAD, R. Quantifying the Impact of Inspection Processes on Production Lines through Stochastic Discrete-Event Simulation Modeling. **Modelling**, vol. 2, nº 4, p. 406–424, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/modelling2040022.

MIQUEO, A.; GRACIA-CADARSO, M.; TORRALBA, M.; GIL-VILDA, F.; YAGÜE-FABRA, J. A. Multi-Model In-Plant Logistics Using Milkruns for Flexible Assembly Systems under Disturbances: An Industry Study Case. **Machines**, vol. 11, nº. 1, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/machines11010066.

MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F. de; LEAL, F.; MARINS, F. A. S. Application of design of experiments on the simulation of a process in automotive industry. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2007, Washington, DC. **Proceedings** [...]. Washington, DC: IEEE, 2007. p. 1601–1609. Disponível em: https://doi.org/10.1109/WSC.2007.4419779.

MULLISA, A. G.; ABDUL-KADER, W. Performance improvement: a lean manufacturing case of metal tools factory. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, vol. 44, nº 4, p. 475–498, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1504/IJISE.2023.132721.

NUJOOM, R.; MOHAMMED, A.; DIABAT, A. Manufacturing system reconfiguration towards sustainable production: a novel hybrid optimization methodology. **Environmental Science and Pollution Research**, vol. 30, nº 51, p. 110687–110714, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-023-29233-x.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OECD/EUROSTAT. **Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation.** 4. ed. Paris: OECD Publishing; Luxembourg: Eurostat, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1787/9789264304604-en.

PATTANAIK, L. N. Simulation Optimization of Manufacturing Takt Time for a Leagile Supply Chain with a De-coupling Point. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, vol. 12, nº 2, p. 102–114, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.24867/IJIEM-2021-2-280.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, vol. 372, n. 71, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

POSSIK, Jalal; ZOUGGAR-AMRANI, Anne; VALLESPIR, Bruno; ZACHAREWICZ, Gregory. Lean techniques impact evaluation methodology based on a co-simulation framework for manufacturing systems. I**nternational Journal of Computer Integrated Manufacturing,** [s. l.], v. 35, n. 1, p. 91–111, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1972468.

RENTERIA-MARQUEZ, I. A.; RENTERIA, A.; ALMERAZ, C. N.; TSENG, T.-L. A

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

Heijunka Study for Automotive Assembly Using Discrete-Event Simulation: A Case Study. **Proceedings - Winter Simulation Conference**, p. 1641–1651, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9383927.

RINALDI, M. *et al.* Supply chain modelling and LARG performance evaluation under severe disruptions: The case of the fast-food industry. **IFAC-PapersOnLine**, vol. 58, nº 19, p. 313–318, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.203.

SEYYEDREZAEI, M. A.; ALVANDI, M. Improving the manufacturing process using Industry 4.0 tool: a simulation-based approach. **International Journal of Process Management and Benchmarking**, vol. 14, nº. 1, p. 52–83, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1504/IJPMB.2023.130454.

SILVA, J. I. A. O.; SOUSA, J. P. de. O lean manufacturing e sua relação com a sustentabilidade. Observatório de la Economía Latinoamericana, vol. 22, nº. 4, pag. e4265, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.55905/oelv22n4-155.

SUNDARARAJAN, N.; TERKAR, R. A roadmap to improving productivity in a fastener manufacturing unit by process optimization using ARENA. **Materials Today: Proceedings**, vol. 62, p. 1017–1025, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.265.

TANTANAWAT, T.; HATTHA, E.; MEESUBLAK, K.; PHAKPHONHAMIN, V. A simulation-based modelling approach for a production line with nested-loop work sequences. **Journal of Simulation**, vol. 18, nº. 4, p. 584–603, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1080/17477778.2024.2311382.

THENARASU, M.; SAKTHI BALAJI, S.; SUMESH, A.; NARASSIMA, M. S.; RAMESHKUMAR, K.; BABAEE TIRKOLAEE, E. Enhancing the productivity of mould shop using continuous improvement tools and simulation. **International Journal of Systems Science: Operations & Logistics**, vol. 11, nº. 1, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1080/23302674.2024.2425014.

TIMOTIUS, E. The role of innovation in business strategy as a competitive advantage: Evidence from Indonesian MSMEs. **Problems and Perspectives in Management**, vol. 21, nº. 1, p. 92–106, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.21511/ppm.21(1).2023.09.

VELÁZQUEZ-SERRANO, J.; RIVERA-GÓMEZ, H.; RAMÍREZ-REYNA, S. B.; GRANILLO-MACIAS, R.; MONTAÑO-ARANGO, O. Enhancing production efficiency through value stream mapping and simulation in the automotive industry. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, vol. 16, nº. 3, p. 239--252, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.24867/IJIEM-386.

WEERAPPERUMA, A.; HASSAN, A.; MULLER, L.; CAMARGO, M.; FERVEUR, N. Contribution to the synergies between ergonomics and lean management for industrial performance: a simulation-based approach. **Procedia CIRP**, vol. 136, p.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 10/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/9qnqrn17
Pages: 1-46

486--491, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.procir.2025.08.084.

WEI, Y.; LEI, Z.; ALTAF, M. S. Simulation-based comparison of push- and pull-based planning in panelized construction. **Automation in Construction**, vol. 158, p. 105228, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105228.

WOLF, M.; RANTSCHL, M.; AUBERGER, E.; PREISING, H.; SBARAGLI, A.; PILATI, F.; RAMSAUER, C. Real Time Locating Systems for Human Centered Production Planning and Monitoring. **IFAC-PapersOnLine,** vol. 55, nº. 2, p. 366–371, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.04.221.

WOLLERT, T.; AL-AOMAR, R.; BEHRENDT, F. Value Stream Management 4.0 – Simulating improvement measures and implementing them. **IFAC-PapersOnLine**, vol. 58, nº 19, p. 858–863, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.180.

ZHANG, Y.; LI, Y. Enhancing innovation capabilities, digital management, and corporate competitiveness. **Finance Research Letters**, vol. 73, p. 106595, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.106595.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol:
DOI:
Pages: 1-25

APÊNDICE

Nº	Ano	Autores	Título	Setor	Ambiente	Ferramentas Lean	Software	Finalidade da simulação	Status de Implementação	Natureza do Resultado	Categoria de Inovação	Confirmação	Limitações declaradas
1	2020	Renteria-Márquez, I. A.; Almeraz, C. N.; Tseng, T.-L. B.; Renteria, A.	A Heijunka Study for Automotive Assembly Using Discrete-Event Simulation: A Case Study	Indústria Automotiva	Industrial real	Kanban e Heijunka	Simio	Determinar o tamanho ideal do lote de produção para uma linha de montagem automotiva.	Proposta simulada	Simulado + observado	Planejamento/controle	confirmado no texto	Não declara limitação metodológica específica; informa apenas que os resultados da validação não puderam ser apresentados por confidencialidade.
2	2022	Eberlein, S.; Freitag, M.	A pull principle for the material supply of low-volume mixed-model assembly lines	Indústria Aeroespacial	Industrial real	produção puxada	Plant Simulation	Avaliar o princípio pull proposto e seu potencial para reduzir o WIP em linhas de montagem de baixo volume e modelos mistos.	Proposta simulada	Simulado + observado	Logística interna	confirmado no texto	Resultados não totalmente generalizáveis; velocidade logística foi considerada ilimitada, e o princípio ainda contém um componente empurrado no início do ciclo.
3	2022	Sundararajan, N.; Terkar, R.	A roadmap to improving productivity in a fastener manufacturing unit by process optimization using ARENA	Indústria Automotiva	Industrial real	mapeamento de fluxo de valor	ARENA	Analisar o comportamento do processo de fabricação de parafusos, identificar gargalos e necessidade de recursos adicionais.	Proposta simulada	Simulado + observado	Configuração/processos	confirmado no texto	Os autores não apresentam uma seção nem uma declaração explícita de limitações.
4	2019	Belil, S.; Tchernev, N.; Kemmoé-Tchomté, S.	A simulation-based modelling approach for a production line with nested-loop work sequences	Indústria Automotiva	Industrial real	padronização de rotinas de trabalho	Plant Simulation	Documentar e padronizar rotinas de trabalho complexas e validar o modelo com dados reais do chão de fábrica.	Proposta simulada	Simulado + observado	Configuração/processos	inferido pela finalidade	A validação ficou restrita à rotina principal, demanda mensal média e um produto; faltaram variações da família, movimentação de materiais e controle da produção.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol:
DOI:
Pages: 1-25

5	2022	Abbes, N.; Sejri, N.; Jaouachi, B.; Cheikhrouhou, M.	An Integrated Lean Six Sigma Approach to Modeling and Simulation: A Case Study from Clothing SME	Indústria Têxtil	Industrial real	Lean Six Sigma	Bizagi Process Modeler	Avaliar cenários, estados atual/futuro e validar melhorias antes da implementação; apoiar treinamento em Lean/Six Sigma.	Implementação real	Simulado + observado	Configuração/processos	inferido pela finalidade	O modelo não incorporou falhas, reparos, absenteísmo, supervisão, manutenção, troca de equipamentos e perdas de tecido.
6	2024	Katsigiannis, M.; Pantelidakis, M.; de Mykoniatis, C.	Assessing the transition from mass production to lean manufacturing using a hybrid simulation model of a LEGO® automotive assembly line	Indústria Automotiva	Learning Factory / educacional	JIT; Heijunka; SMED	AnyLogic	Avaliar, por simulação híbrida, os efeitos de técnicas de LM na transição de produção em massa para LM.	Proposta simulada	Simulado + observado	Planejamento/controle	confirmado no texto	O estudo restringe-se a uma linha educacional LEGO; necessidade de cenários ampliados para extrapolação a instalações industriais maiores.
7	2025	Weerapperuma, A.; Hassan, A.; Muller, L.; Camargo, M.; Ferveur, N.	Contribution to the Synergies Between Ergonomics and Lean Management Supported by Digital Technologies	Reciclagem/processamento de resíduos	Industrial real	VSM; análise de fluxo de materiais; integração Lean-ergonomia	FlexSim	Comparar configurações da separação de resíduos e avaliar throughput, ociosidade, estoque e ergonomia.	Proposta simulada	Simulado + observado	Configuração/processos	confirmado no texto (doc. autores)	Dependência de dados históricos; risco de dados incompletos; dificuldade de converter ergonomia qualitativa em parâmetros; necessidade de validação mais ampla.
8	2025	Félix-Jácquez, R. H.; Hernández-Uribe, Ó.; Cárdenas-Robledo, L. A.; Mora-Alvarez, Z. A.	Design of a Remanufacturing Line Applying Lean Manufacturing and Supply Chain Strategies	Ferroviário	Industrial real	VSM; Kanban; JIT; Milk Run; 5S; SMED; Poka-Yoke; Kaizen; balanceamento; padronização	ProModel	Projetar a linha e comparar cinco cenários incrementais de integração Lean, cadeia de suprimentos e I4.0.	Proposta simulada	Simulado	Configuração/processos	confirmado no texto (doc. autores)	Caso único ferroviário; ausência de análise econômica e de custos de implantação; necessidade de envolver mais stakeholders.
9	2023	Iyer, S. V.; Sangwan, K. S.; Dhiraj, D.	Digitalization: a tool for the successful long-term adoption of lean	Automação Industrial	Learning Factory / educacional	sensores IIoT; dashboard; Digital Twin	AnyLogic	Testar e validar a implementação de soluções propostas sem interromper a	Piloto-experimento	Simulado + observado	Digitalização	inferido pela finalidade	A arquitetura ainda precisa ser testada com múltiplas linhas; coleta de muitas tags pode ser complexa e o Digital Twin exige profissionais qualificados.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol:
DOI:
Pages: 1-25

			manufacturing					produção.					
10	2020	Heravi, G.; Rostami, M.; Kebria, M. F.	Energy consumption and carbon emissions assessment of integrated production and erection of buildings' pre-fabricated steel frames using lean techniques	Construção e Infraestrutura	Industrial real	ferramentas lean	Arena	Testar e validar soluções implementáveis sem interromper produção ou utilizar recursos reais.	Proposta simulada	Simulado + observado	Configuração/processos	inferido pela finalidade	Tempos foram considerados fixos; houve restrição ao uso de 5S; poucas fábricas integravam produção e montagem; estudo de caso único.
11	2025	Velázquez-Serrano, J.; Ramírez-Reyna, S. B.; Rivera-Gómez, H.; Granillo-Macias, R.; Montaño-Arango, O.	Enhancing Production Efficiency Through Value Stream Mapping and Simulation in the Automotive Industry	Automotivo	Industrial real	VSM; takt time; balanceamento; Kanban; Kaizen; 5S; padronização	Arena 16.1	Simular estados atual/futuro de duas linhas, verificar atendimento ao Takt Time e eliminar gargalos.	Proposta simulada	Simulado	Configuração/processos	confirmado no texto (doc. autores)	Demanda diária constante; disponibilidade fixa; defeitos baseados em médias históricas; ausência de demanda estocástica.
12	2025	Hsu, H.-P.; Wang, C.-N.; Vo, T. T. B. C.; Nguyen, N. T.	Enhancing Productivity and Inventory Management in Aquatic Processing Through a Comprehensive Lean Manufacturing Framework	Alimentício	Industrial real	VSM; padronização; estudo de tempos; layout Lean; balanceamento; Kanban; TQM; FIFO; fluxo puxado	Arena	Modelar estado futuro, redistribuir trabalhadores, balancear operações e estimar impactos sobre lead time e estoque.	Proposta simulada	Simulado	Configuração/processos	confirmado no texto (doc. autores)	Melhorias ainda não implantadas; caso único e uma família de produtos; necessidade de análise longitudinal e de custos.
13	2024	Thenarasu, M.; Balaji, S.; Sumesh, S.	Enhancing the productivity of mould shop using continuous improvement tools and simulation	Metalurgia e Siderurgia	Industrial real	RCA; 5 Porquês; TRIZ	Não informado	Incorporar estratégias de melhoria ao modelo DES e obter ganhos de throughput.	Proposta simulada	Simulado + observado	Configuração/processos	inferido pela finalidade	Não informado no resumo.
14	2022	Ferreira, W. P.; Armellini, F.; de	Extending the lean value stream	Indústria	Industrial	mapeamento de fluxo de valor	AnyLogic	Ampliar o escopo do VSM para	Proposta	Simulado +	Digitalização	inferido pela	Caso único, limitado a uma PME e ao nível de uma planta; aplicação potencialmente

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol:
DOI:
Pages: 1-25

		Santa-Eulalia, L. A.; Thomasset-Laperrière, V.	mapping to the context of Industry 4.0: An agent-based technology approach	Moveleira	real	(agente-based)		permitir identificação dinâmica de gargalos.	simulada	observado		finalidade	demorada e cara, dependente de especialista em simulação.
15	2022	Almanei, M.; Oleghe, O.; Afy-Shararah, M.; Salonitis, K.	Implementing Pull Manufacturing in Make-To-Order Environments	Plásticos e Embalagens	Industrial real	produção puxada; Kanban; CONWIP; POLCA	Não informado	Avaliar viabilidade e efeitos de três sistemas puxados em ambiente MTO.	Proposta simulada	Simulado + observado	Logística interna	inferido pela finalidade	O CONWIP somente funcionou desconsiderando tempos de setup e atrasos de matéria-prima, limitando a aplicabilidade dos resultados.
16	2023	Seyyedrezaei, M. A.; Alvandi, M.	Improving the manufacturing process using Industry 4.0 tool: a simulation-based approach	Indústria Automotiva	Industrial real	mapeamento de fluxo de valor	AnyLogic	Desenvolver e comparar cenários com quatro ferramentas Lean, avaliando produtividade e lead time.	Proposta simulada	Simulado + observado	Digitalização	inferido pela finalidade	Não informado no resumo.
17	2020	Afifi, M.; Fotouh, A.; Al-Hussein, M.; Abourizk, S.	Integrated lean concepts and continuous/discrete-event simulation to examine productivity improvement in door assembly-line for residential buildings	Construção e Infraestrutura	Industrial real	conceitos Lean gerais	Simphony	Examinar soluções baseadas em Lean para melhorar a produtividade de uma linha de montagem de portas.	Proposta simulada	Simulado + observado	Configuração/processos	inferido pela finalidade	Não apresenta seção explícita de limitações; estudo restrito a uma única linha de portas.
18	2025	Carbajal-Macedo, J. V.; Serrano-Rossado, G. N.; Chavez-Ugaz, R.; Leon-Chavarri, C. C.	Integrated Lean Operational Model to Increase Efficiency in a Winery Company	Vitivinícola	Industrial real com piloto-experimento	5S; Poka-Yoke; Slotting; padronização; gestão visual	Arena	Validar modelo Lean integrado para reduzir tempo final por garrafa em inspeção, rotulagem e movimentação.	Piloto-experimento	Simulado + observado	Logística interna	confirmado no texto (doc. autores)	Caso único em microempresa; implantação parcial; Poka-Yoke não instalado fisicamente; generalização limitada.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol:
DOI:
Pages: 1-25

19	2022	Afy-Shararah, M.; Salonitis, K.	Integrated modeling of soft and hard variables in manufacturing	Indústria Aeroespacial	Industrial real	mapeamento de fluxo de valor	AnyLogic	Investigar relação entre variáveis qualitativas (treinamento, motivação) e quantitativas (layout, produção).	Proposta simulada	Simulado + observado	Digitalização	confirmado no texto	Não declara seção específica de limitações; recomenda incluir habilidades, novos funcionários, segurança e custos em estudos futuros.
20	2021	Kebria, M. F.; Rostami, M.	Integrating the production and the erection processes of pre-fabricated steel frames in building projects using phased lean management	Construção e Infraestrutura	Industrial real	ferramentas lean	ARENA	Avaliar melhoria esperada no desempenho do projeto pela redução de desperdícios via técnicas Lean.	Proposta simulada	Simulado + observado	Planejamento/controle	ajustado p/ reconciliar com Fig.6 — foco em faseamento/ sequenciamento	O estudo avaliou apenas produção e montagem de estruturas pré-fabricadas de aço em um único projeto residencial.
21	2025	Azzolini Junior, W.; Santos, C. H.; Romano, A. L.; Salles, H. O.; Palma, J. M.; Augusto Filho, R. T.	Integration of Simulation and Hierarchical Approach to Support Lean Implementation	Plásticos e Embalagens	Industrial real	VSM; sequenciamento e programação; redução de espera e setup	Tecnomatix Plant Simulation	Avaliar cenários de movimentação, setup e sequenciamento combinando DES, Moore-Hodgson e algoritmo genético.	Proposta simulada	Simulado	Planejamento/controle	confirmado no texto (doc. autores)	Escopo restrito aos processos selecionados; impossibilidade de implantar todas as melhorias; dependência da qualidade dos dados.
22	2022	Korchagin, A.; Deniskin, Y.; Pocebneva, I.; Vasilyeva, O.	Lean Maintenance 4.0: implementation for aviation industry	Indústria Aeroespacial	Industrial real	ferramentas lean	AnyLogic (planejado)	Avaliar a eficiência da abordagem Lean Maintenance 4.0 para a aviação (proposta conceitual).	Não determinado	Não determinada	Planejamento/controle	ajustado p/ reconciliar com Fig.6 — manutenção programada (não executado)	Não declara limitações de um modelo executado, pois o modelo ainda não foi construído; apresenta apenas estrutura conceitual e fluxograma inicial.
23	2021	Possik, J.; Zouggar-Amrani, A.; Vallespir, B.; Zacharewicz, G.	Lean techniques impact evaluation methodology based on a co-simulation framework for manufacturing	Indústria Aeroespacial	Industrial real (adaptado)	técnicas Lean diversas	JaamSim	Avaliar o impacto de diversas técnicas Lean em sistemas de manufatura sob diferentes contextos	Proposta simulada	Simulado	Configuração/processos	inferido pela finalidade	Resultados dependem da configuração da plataforma; aspectos humanos assumidos como preexistentes; modelo suporta até oito máquinas.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol:
DOI:
Pages: 1-25

			systems					industriais.					
24	2020	Kaiser, J.; Zimmermann, S.; Metternich, J.	Logistic decisions in value stream design: a case study	Automação Industrial	Industrial real	mapeamento de fluxo de valor	Siemens Tecnomatix Plant Simulation	Avaliar e comparar alternativas promissoras de projeto do fluxo de valor.	Proposta simulada	Simulado + observado	Logística interna	inferido pela finalidade	A coleta detalhada, construção dos modelos e experimentos demandam muito tempo, esforço e conhecimento especializado.
25	2023	Nujoom, R.; Mohammed, A.; Diabat, A.	Manufacturing system reconfiguration towards sustainable production: a novel hybrid optimization methodology	Indústria Têxtil	Industrial real	lean green	Enterprise Dynamics (ED)	Criar e avaliar modelo de sistema de manufatura sustentável.	Proposta simulada	Simulado + observado	Configuração/processos	inferido pela finalidade	A aplicação considerou somente petróleo e energia solar; integração multidomínio e tecnologias de fábrica virtual permanecem caras e complexas.
26	2023	Miqueo, A.; Gracia-Cadarso, M.; Torralba, M.; Gil-Vilda, F.; Yagüe-Fabra, J. A.	Multi-Model In-Plant Logistics Using Milkruns for Flexible Assembly Systems under Disturbances: An Industry Study Case	Indústria de Eletrodomésticos	Industrial real	milkrun (reabastecimento interno)	FlexSim	Explorar e avaliar desempenho de linhas de montagem multimodelo com milkruns para logística interna.	Proposta simulada	Simulado + observado	Logística interna	inferido pela finalidade	Baixa variabilidade de produtos e simplificação física do milkrun; não modela defeitos, retrabalho ou congestionamento entre trens.
27	2023	Mullisa, A. G.; Abdul-Kader, W.	Performance improvement: a lean manufacturing case of metal tools factory	Metalurgia e Siderurgia	Industrial real	mapeamento de fluxo de valor; manufatura celular	ARENA	Validar recomendações de melhoria e analisar seus efeitos em propostas de estado futuro.	Proposta simulada	Simulado + observado	Configuração/processos	confirmado no texto	Não apresenta seção formal de limitações; recomenda pesquisas adicionais sobre ganhos no desempenho empresarial.
28	2025	Cardini, S.; Marchi, B.; Lanzini, M.; Zanoni, S.; Frazzon, E. M.	Proposition of a Simulation-Based Approach for Production Balancing	Automotivo	Industrial real	VSM; balanceamento da produção; FIFO; gestão de buffers	Tecnomatix Plant Simulation	Testar políticas de acionamento de máquinas e níveis de buffers para reduzir esperas, turnos e custos.	Proposta simulada	Simulado	Planejamento/controle	confirmado no texto (doc. autores)	Tempos determinísticos; falhas e paradas não modeladas; ausência de qualidade e manutenção no OEE.
29	2023	Eberlein, M.;	Pull-control of material supply for	Indústria	Industrial	produção puxada	Não	Avaliar validade e desempenho do	Proposta	Simulado +	Digitalização	confirmado	A formação dos grupos de tarefas ainda precisa considerar melhor a demanda de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol:
DOI:
Pages: 1-25

		Freitag, M.	low-volume assembly lines.	Aeroespacial	real		informado	princípio de controle pull proposto.	simulada	observado		no texto	materiais.
30	2021	Martinez, P.; Ahmad, R.	Quantifying the Impact of Inspection Processes on Production Lines through Stochastic Discrete-Event Simulation Modeling	Não especificado (caso sintético)	Laboratório	inspeção e controle da qualidade	Simphony	Quantificar impacto de processos de inspeção sobre produtividade, qualidade e fornecimento de materiais.	Proposta simulada	Simulado	Configuração/processos	inferido pela finalidade	O modelo não contempla logística, parâmetros de projeto e manutenção, indicados como extensões futuras.
31	2022	Wolf, M.; Rantschl, M.; Auberger, E.; Preising, H.; Sbaragli, A.; Pilati, F.; Ramsauer, C.	Real Time Locating Systems for Human Centered Production Planning and Monitoring.	Micromobilidade	Learning Factory / educacional	RTLS/UWB; Digital Twin	conjunto de softwares próprios	Replicar o processo monitorado em ambiente virtual e comparar estado real com estado planejado.	Piloto-experimento	Simulado + observado	Digitalização	confirmado no texto	O Digital Twin e o feedback aos operadores ainda não existiam; erros por manuseio das tags e vibrações; necessária validação em fábricas reais.
32	2021	Pattanaik, L. N.	Simulation Optimization of Manufacturing Takt Time for a Leagile Supply Chain with a De-coupling Point	Não especificado (caso hipotético)	Laboratório	takt time; produção leagile	WITNESS	Determinar taxa de produção ideal para uma fábrica considerando o conceito de Takt Time.	Proposta simulada	Simulado	Planejamento/controle	inferido pela finalidade	O modelo considera apenas uma fábrica, um armazém, seis varejistas e dois produtos hipotéticos.
33	2019	Baumer-Cardoso, M. I.; Campos, L. M. S.; Santos, P. P. P.; Frazzon, E. M.	Simulation-based analysis of catalyzers and trade-offs in Lean & Green manufacturing	Indústria Aeroespacial	Industrial real	Lean & Green	Simio	Avaliar integração do Lean & Green e realizar análises ambientais sobre consumo de água, energia e matéria-prima.	Proposta simulada	Simulado + observado	Configuração/processos	inferido pela finalidade	O Simio limitou a modelagem da disponibilidade das máquinas; estudo restrito a um processo de uma empresa.
34	2021	Eberlein, S.; Schukraft, S.; Freitag, M.	Simulation-based Design of a Pull Material Supply System for Low Volume Unpaced Assembly Lines: A	Plásticos e Embalagens	Industrial real	CONWIP (produção puxada)	Plant Simulation	Determinar parâmetros ideais para sistema pull, incluindo limites de WIP para	Proposta simulada	Simulado + observado	Logística interna	inferido pela finalidade	Necessárias simplificações do sistema; implantação dependeria de sinais pull eletrônicos e integração com sistema de TI.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol:
DOI:
Pages: 1-25

			Case Study in the Aerospace Industry					diferentes linhas.					
35	2024	Rinaldi, M.; Petrillo, V.; Fera, M.; Caterino, M.; Bottani, E.; Macchiaroli, R.	Supply chain modelling and LARG performance evaluation under severe disruptions.	Indústria Alimentícia	Industrial real	JIT; práticas LARG	Microsoft Excel	Modelar e comparar configurações da cadeia de suprimentos para avaliar desempenho LARG diante de disrupções.	Proposta simulada	Simulado + observado	Planejamento/controle	ajustado p/ reconciliar com Fig.6 — configuração estratégica de cadeia, não fluxo interno	O estudo representa apenas um produto, uma região e frequência de disrupção fixa.
36	2024	Wollert, T.; Al-Aomar, R.; Behrend, F.	Value Stream Management 4.0 – Simulating improvement measures and implementing them.	Eletrônico	Learning Factory / educacional	mapeamento de fluxo de valor	ARENA	Visualizar, analisar e avaliar medidas Lean sob condições reais, validando mudanças de projeto e melhorias no VSM.	Proposta simulada	Simulado	Digitalização	confirmado no texto	Parâmetros manuais, ausência de integração com dados mestres/transacionais, parametrização sujeita a erros.

CC BY