



ConBRepro

XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



ESG nas Engenharias

30 a 02
de dezembro 2022

Integração entre indústria 4.0 e manufatura enxuta: revisão sistemática da literatura

Danilo Goulart da Silva

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luis Mauricio Resende

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rui Tadashi Yoshino

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: Os princípios da manufatura enxuta (LM), implementados na Toyota e amplamente difundidos entre outras empresas de manufatura, tornaram-se uma necessidade para organizações que almejam manter alto desempenho. A quarta revolução industrial, indústria 4.0 (I 4.0) como é definida, é objeto de discussão recente. Apresenta um conjunto de tecnologias que possibilita novas maneiras de solucionar de problemas e otimizar os processos produtivos. Deste modo, na busca por encontrar os possíveis benefícios gerados, analisa-se a integração entre a I 4.0 e LM, mapeando objetivos e métodos utilizados na literatura atual. Realiza-se uma revisão sistemática da literatura conforme a metodologia *Methodi Ordinatio*, seguido da análise predominante qualitativa de um portfólio com 20 artigos. Verificou-se em trabalhos atuais e relevantes que o tema gera abordagens envolvendo a integração de tecnologias e princípios. Otimização do desempenho de empresas aplicando novos modelos dinâmicos de mapeamento do fluxo de valor. Assim como, a integração atua na melhoria do desempenho sustentável da cadeia produtiva.

Palavras-chave: Indústria 4.0, lean manufacturing, revisão sistemática da literatura.

Integration Between Industry 4.0 and Lean Manufacturing: A systematic Literature Review

Abstract: Lean manufacturing (LM) principles were firstly implemented at Toyota, and then largely widespread among manufacturing industries. It became a necessity for organizations that pursue to maintain high performance. The fourth industrial revolution, defined as well as industry 4.0 (I 4.0) has been currently addressed. It has a group of technologies that enable new ways to solve problems and optimize production processes. Hence, searching for potential benefits of the current link between I 4.0 and LM, the current literature is analyzed focusing on the objectives and methods used. A systematic review of the literature is proposed according to *Methodi Ordinatio* methodology, followed mostly by qualitative analysis of a 20 articles portfolio. It was verified in current and relevant papers that the theme generates approaches involving technologies and principles integration. Optimization of company performance by applying new dynamic value stream mapping models. Likewise, the link acts in the improvement of sustainable supply chain performance.

Keywords: Industry 4.0, lean manufacturing, systematic literature review

1. Introdução

Palange, A., Dhattrak, P. (2021) abordam que o LM vem sendo estudado e disseminado desde a sua criação por volta de 1950. Sanders, A. et al. (2016) indica que a quarta revolução industrial, ou indústria 4.0 como é amplamente chamada, trata-se de um tema de interesse atual.

Touriki et al. (2021) relata que devido ao aumento de custos recentes e alta concorrência, as empresas não podem deixar de ser enxutas. Sendo assim, o LM tornou-se uma necessidade para sustentar o alto desempenho de qualquer organização. Segundo Gubán e Kovács (2017), a aplicação das tecnologias da I 4.0 podem criar novas possibilidades de resolução de problemas, bem como melhoria dos processos produtivos atuais.

Dixit, A. et al. (2022), encontrou uma influência positiva de práticas de fabricação sustentáveis na adoção da I4.0. Assim como, avaliou que as práticas de LM e manufatura sustentável influenciam positivamente a adoção da I 4.0.

Ferreira, W.d.P.et al. (2022), aponta por meio da simulação virtual que a quantidade de peças em processo de fabricação pode diminuir consideravelmente. Assim como, foi possível observar reduções no takt time, e redução no nível de inventário na planta com a integração da I 4.0 e LM.

Devido aos possíveis benefícios gerados e modernidade do tema, busca-se analisar a integração atual entre a I 4.0 e o LM; mapeando objetivos e métodos utilizados em artigos atuais. Como metodologia foi proposto uma revisão sistemática da literatura.

Este artigo é dividido em 4 seções. A primeira seção realiza uma introdução ao tema buscando entender as abordagens da integração entre LM e I 4.0. A segunda seção apresenta a metodologia utilizada na revisão da literatura. A terceira seção traz os resultados em forma de análise quantitativa e qualitativa. A quarta seção apresenta as conclusões.

2. Metodologia

Realizou-se uma revisão sistemática da literatura de acordo com o *Methodi Ordinati* proposto por Pagani *et al.*, (2015), aplicando as 9 etapas do método: Definição da intenção de pesquisa, pesquisa preliminar nas bases de dados, definição das palavras-chave; combinações e bases de dados, busca definitiva nas bases de dados, aplicação dos procedimentos de filtragem, identificação do fator de impacto e número de citações, ordenação por meio da equação *InOrdinatio*, e download e leitura dos artigos.

A pesquisa preliminar nas bases de dados orientou na definição da seguinte combinação palavras-chave: ("lean manufacturing" OR "toyota production system") AND ("industry 4.0" OR "industrie 4.0" OR "4th industrial revolution").

A busca foi aplicada nas bases de dados: Science Direct, Scopus e Web of Science e os resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Busca definitiva em bases de dados

Base de dados	Artigos encontrados	Critério de busca	Filtro período
Science Direct	45	Title, abstract OR author-specified keywords	Não houve linha de corte temporal
Scopus	35	Title AND abstract AND keywords	Não houve linha de corte temporal
Web of Science	7	Title AND abstract AND author keywords	Não houve linha de corte temporal

Fonte: Autoria própria (2022)

Com a busca nas bases de dados inicialmente foram encontrados 77 artigos. Na sequência, aplicou-se o procedimento de filtragem conforme os critérios descritos na tabela 2.

Tabela 2 – Aplicação dos procedimentos de filtragem

Filtros	Total	
Todos os resultados encontrados em base de dados	77	100%
Exclusão de artigos duplicados	9	12%
Exclusão devido publicação em conferências	46	60%
Exclusão após leitura do título	2	3%
Número de artigos no portfólio após filtragem	20	26%

Fonte: Autoria própria (2022)

Desta forma, 57 trabalhos foram excluídos devido a duplicação ou publicação em conferências ou título não condizia com o tema, resultando em portfólio com 20 artigos.

Posteriormente, identificou-se o fator de impacto (2021) dos periódicos buscando o JCR na plataforma Clarivate e o CiteScore na plataforma Scopus. Assim como, identificou-se o número de citações com os dados obtidos por meio de pesquisa no portal Google Scholar realizada em julho de 2022.

Após completar as seis etapas iniciais, foi possível aplicar a equação de ordenamento: $InOrdinatio = (FI/1000) + \alpha * [10 - (APE-APU)] + (\sum CI)$.

Onde, FI refere-se ao fator de impacto; APE ano da pesquisa; APU ano de publicação; CI número de citações; e α é coeficiente atribuído pelo autor da seguinte forma: 0= artigos publicados até o ano de 2020 e publicações em periódicos com fator de impacto menor que 1; 5= artigos publicados entre os anos de 2018 e 2020; 10= artigos publicados a partir do ano de 2021.

Por fim, os dados dos artigos que compreendem o portfólio final foram tratados com os softwares Excel, Mendeley, Jabref e VOSviewer.

3. Resultados e discussões

Após execução do *Methodi Ordinati* conforme descrito na metodologia. Os resultados são apresentados de acordo com a relevância do artigo indicada por a equação InOrdinatio. O portfólio ordenado é apresentado na tabela 3.

Tabela 3 – Portfólio da revisão sistemática

Rank	Autores	Título do artigo	APU	FI	CI	In Ordina tio
1	Sanders, A., Elangeswaran, C. and Wulfsberg, J.	Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing	2016	0,29	799	799,00
2	Buer, S.V., Strandhagen, J.O. and Chan, F.T.S.	The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda	2018	9,01	545	575,01
3	Kamble, S., Gunasekaran, A. and Dhone, N.C.	Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies	2020	9,01	256	296,01
4	Pacchini, A.P.T., Lucato, W.C., Facchini, F. and Mummolo, G.	The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0	2019	11,2	160	195,01
5	Pagliosa, M., Tortorella, G. and Ferreira, J.C.E.	Industry 4.0 and Lean Manufacturing: A systematic literature review and future research directions	2021	8,14	105	195,01
6	Varela, L., Araujo, A., Avila, P., Castro, H. and Putnik, G.	Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability	2019	3,88	136	171,00
7	Amjad, M.S., Rafique, M.Z. and Khan, M.A.	Leveraging Optimized and Cleaner Production through Industry 4.0	2021	8,92	38	128,01
8	Palange, A. and Dhattrak, P.	Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing	2021	2,3	38	128,00
9	Tortorella, G.L., Narayanamurthy, G. and Thurer, M.	Identifying pathways to a high-performing lean automation implementation: An empirical study in the manufacturing industry	2021	11,25	28	118,01
10	Dixit, A., Jakhar, S.K. and Kumar, P.	Does lean and sustainable manufacturing lead to Industry 4.0 adoption: The mediating role of ambidextrous innovation capabilities	2022	10,88	6	106,01
11	Vlachos, I.P., Pascuzzi, R.M., Zobolas, G., Repoussis, P. and Giannakis, M.	Lean manufacturing systems in the area of Industry 4.0: a lean automation plan of AGVs/IoT integration	2021	6,84	14	104,01
12	Ferreira, W.d.P., Armellini, F., de Santa-Eulalia, L.A. and Thomasset-Laperrière, V.	Extending the lean value stream mapping to the context of Industry 4.0: An agent-based technology approach	2022	9,49	3	103,01

13	Huang, Z., Jowers, C., Kent, D., Dehghan-Manshadi, A. and Dargusch, M.S.	The implementation of Industry 4.0 in manufacturing: from lean manufacturing to product design	2022	3,56	3	103,00
14	Anosike, A., Alafropatis, K., Garza-Reyes, J.A., Kumar, A., Luthra, S. and Rocha-Lona, L.	Lean manufacturing and internet of things – A synergetic or antagonist relationship?	2021	11,24	12	102,01
15	Cifone, F.D., Hoberg, K., Holweg, M. and Staudacher, A.P.	'Lean 4.0': How can digital technologies support lean practices?	2021	11,25	9	99,01
16	Touriki, F.E., Benkhati, I., Kamble, S.S., Belhadi, A. and El fezazi, S.	An integrated smart, green, resilient, and lean manufacturing framework: A literature review and future research directions	2021	11,07	7	97,01
17	Huang, Z., Kim, J., Sadri, A., Dowe, S. and Dargusch, M.S.	Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs	2019	9,49	61	96,01
18	Ghaithan, A., Khan, M., Mohammed, A. and Hadidi, L.	Impact of Industry 4.0 and Lean Manufacturing on the Sustainability Performance of Plastic and Petrochemical Organizations in Saudi Arabia	2021	3,88	5	95,00
19	Ramadan, M., Salah, B., Othman, M. and Ayubali, A.A.	Industry 4.0-based real-time scheduling and dispatching in lean manufacturing systems	2020	3,88	27	67,00
20	Ghouat, M., Haddout, A. and Benhadou, M.	Impact of Industry 4.0 Concept on the Levers of Lean Manufacturing Approach in Manufacturing Industries	2021	0,31	7	7,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Nota-se que o tema é atual, sendo que 65% das publicações que compõe o portfólio foram realizadas nos dois últimos anos. Deste modo: 10 publicações em 2021, 3 publicações em 2022 e 2019, 2 publicações em 2020 e 1 publicação nos anos de 2016 e 2018.

Analisou-se a nacionalidade da instituição de ensino de cada autor. Destaca-se o Brasil com 4 publicações no ano de 2022, assim como a Austrália, que também realizou 4 publicações. Seguido por Marrocos e Índia com 3 publicações, todas posteriores ao ano de 2020. Os demais países como: Alemanha, Inglaterra, Itália, França, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Noruega, Palestina, Paquistão e Portugal possuem uma publicação cada.

Verifica-se na análise de instituições com mais publicações que The University of Queensland, possui 2 artigos publicados. As demais instituições apresentaram 1 publicação.

Na totalidade do portfólio, observou-se 77 autores e co-autores. Huang, Zhuoyu publicou 2 artigos e os demais apresentaram 1 publicação cada. Percebe-se a formação de 20 clusters de autores e coautores. Dos quais, 3 clusters vem discutindo o tema a partir do ano de 2022; 10 clusters abordam o tema em 2021; e os demais 7 clusters estudam o assunto nos anos anteriores a 2020.

Analisou-se a co-autoria pelo método *full counting*, com um número mínimo de ocorrências de uma ocorrência por autor. Na figura 1 é exposta a análise visual de autores e coautores.

Observa-se analisando a quantidade de publicações por revistas que: Sustainability apresenta 3 publicações. Computers in Industry, International Journal of Production Economics, International Journal of Production Research, Journal of Manufacturing Systems trazem 2 publicações cada. As demais nove revistas possuem 1 publicação cada.

Posteriormente, realiza-se uma análise dos objetivos, métodos e resultados encontrados nos artigos pertencentes ao portfólio conforme é exposto na tabela 4:

Tabela 4 – Análise do conteúdo dos artigos do portfólio

Autor	Objetivos e métodos	Resultados
Sanders, A. et al. (2016)	<p>Analisar a ligação entre LM e I 4.0. Verificar se a I 4.0 é capaz de implementar o LM. Explorar o dilema de investimento da I 4.0</p> <p>Revisão da literatura.</p>	<p>Gerou-se uma listagem dos desafios da implementação e execução do LM. Quais as soluções fornecidas pela I 4.0 na perspectiva da integração com o LM. Estabelece em 10 em dimensões e as agrupa em 4 categorias as práticas do LM. Define I 4.0 de acordo com seu estágio atual na Alemanha. Verifica sob a ótica de integração de recursos quais são as barreiras para a implementação do LM. Identifica na literatura associada a I 4.0, os princípios e soluções adequadas para resolver as barreiras de implementação do LM.</p>
Buer, S.V. et al. (2018)	<p>Explorar o elo entre LM e I 4.0 mapeando o estado atual de pesquisas. Propor uma agenda de pesquisa para estudos futuros.</p> <p>Identificar quatro linhas de pesquisa e apresentar as principais descobertas em cada área.</p> <p>Revisão sistemática da literatura.</p>	<p>Aplicou-se um framework conceitual a respeito do estado atual de pesquisas mostram:</p> <p>a) 18 autores apontam que as tecnologias da I 4.0 podem apoiar e desenvolver ainda mais práticas de manufatura, ou seja, a I 4.0 suporta o LM;</p> <p>b) 1 autor aborda que os sistemas de LM já estabelecidos exercem efeitos facilitadores na implementação da I 4.0, ou seja, LM suporta a I 4.0;</p> <p>c) 8 autores apontam que as mudanças impostas ao sistema de produção pela integração da I 4.0 e o LM afetam diferentes dimensões de desempenho do sistema, ou seja, ilustra as implicações de desempenho da integração da I 4.0 com o LM.</p>
Kamble, S. et al. (2020)	<p>Investigar empiricamente os efeitos das tecnologias da I 4.0 nas práticas LM e no desempenho organizacional sustentável.</p> <p>Aplicação de pesquisa realizada com 205 membros de 115 organizações de manufatura indianas.</p>	<p>Por meio de validação empírica, os autores identificaram a presença de um fator positivo e relação direta entre a I 4.0, LM, assim como, desenvolvimento organizacional sustentável. Notou-se que o LM é considerada uma variável mediadora importante que facilita a relação entre I 4.0 e desenvolvimento organizacional.</p>
Pacchini, A.P.T. et al. (2019)	<p>Propor um modelo adaptado para medir o grau de prontidão de uma organização de manufatura em relação à implementação da I 4.0 de acordo com a norma da sociedade dos engenheiros automotivos (SAE) J4000.</p> <p>Revisão da literatura e estudo de caso em uma empresa de autopeças brasileira.</p>	<p>Avaliou-se o grau de prontidão de uma empresa de manufatura para a implementação da I 4.0, ao invés de avaliar somente o nível de maturidade no uso das tecnologias. Gestores podem compreender os princípios e técnicas. Assim como, utilizar a ferramenta para elencar ações necessárias para a implantação de tecnologias da I 4.0. O estudo propõe um novo modelo de avaliação da prontidão baseado em uma norma automotiva, qual não foi exhaustivamente estudado no passado.</p>

Pagliosa, M. et al. (2021)	<p>Identificar a relação entre as tecnologias da I 4.0 com as práticas do LM em indústrias de manufatura.</p> <p>Revisão sistemática da literatura.</p>	<p>Identificou-se e caracterizou-se 9 tecnologias I4.0 e 14 práticas LM de acordo com diferentes níveis de aplicação e relação. Destaca-se a IOT e CPS como as principais tecnologias digitais que favorecem a implementação de práticas LM.</p>
Varela, L. et al. (2019)	<p>Propor um modelo de equação estruturada com seis hipóteses para quantificar os efeitos da I 4.0 e LM na sustentabilidade.</p> <p>Revisão do estado da arte da literatura e aplicação de pesquisa realizada com 252 indústrias de Portugal e Espanha.</p>	<p>Relatou-se que não é conclusivo dizer que o LM se correlaciona com os pilares da sustentabilidade. Indicou-se que as tecnologias da I 4.0 possuem correlação com os pilares da sustentabilidade, especialmente tratando-se de sustentabilidade ambiental. Evidenciou-se a correlação entre LM e I 4.0.</p>
Amjad, M.S. et al. (2021)	<p>Aplicar um framework de implantação que combina de forma harmoniosa o LM, I 4.0 e produção verde</p> <p>Revisão sistemática da literatura e estudo de caso em uma indústria do segmento automotivo serviram como base para desenvolvimento de um framework.</p>	<p>Os resultados mostram que abordagens como: Primeiro a entrar, primeiro a sair (FIFO), manutenção produtiva total (TPM), controle da produção inteligente, CPS, 6Rs, e monitoramento energético inteligente. São os fatores mais importantes para alcançar uma produção limpa e otimizada. Com a integração do LM e I 4.0, observa-se redução de lead time produtivo e redução de emissões de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso.</p>
Palange, A. and Dhattrak, P. (2021)	<p>Revisar os efeitos das práticas do LM na otimização de processos e redução de desperdícios em diferentes setores industriais.</p> <p>Revisão da literatura.</p>	<p>Revisou-se a aplicação de diferentes práticas LM como: 5S em indústria de fio de cobre, análise do modo e efeito de falha em uma indústria de componentes de motores, mapeamento do fluxo de valor em uma fábrica de sacos plásticos, setor de manutenção, construção civil, entre outras.</p>
Tortorella, G.L. et al. (2021)	<p>Investigar via pesquisa como indústrias estão passando pela implementação do LM junto com a adoção de tecnologias da I 4.0, verificando qual a sequência de implantação está sendo adotada.</p> <p>Revisão da literatura e aplicação de pesquisa via questionário em 61 indústrias do Brasil e Índia.</p>	<p>Indicou-se que não há um caminho claro em termos de práticas e tecnologias. No entanto, existem conjuntos de práticas/tecnologias integradas que são mais propensos a serem implementados primeiramente, sugerindo a existência de uma relação de precedência. Os autores sugerem três conjuntos interdependentes e precedentes, que são classificados de acordo com as práticas já implementadas, denominados como: start up, em transição e avançadas.</p>
Dixit, A. et al. (2022)	<p>Utilizar modelo de equação estruturada para investigar o papel mediador dos recursos ambivalentes na adoção da I 4.0 para atingir as metas de sustentabilidade em várias empresas e interessados.</p> <p>Revisão da literatura e aplicação de questionário de pesquisa para 296 gestores de empresas indianas.</p>	<p>Notou-se que a influência das práticas LM na adoção das tecnologias da I4.0 é positiva e estatisticamente significativa. Encontrou-se uma influência positiva de práticas de fabricação sustentáveis na adoção da I4.0. Avaliou-se que as práticas de LM e manufatura sustentável influenciam positivamente a adoção da I 4.0. Verificou-se impactos positivos e estatisticamente significativos na integração do LM e manufatura sustentável com a ambidestria de inovação. Do mesmo modo, na adoção do I4.0.</p>
Ferreira, W.d.P. et al. (2022)	<p>Explorar a integração do mapeamento do fluxo de valor com simulações e modelagens híbridas. Auxiliando as iniciativas da I 4.0 em empresas de manufatura, principalmente pequenas e médias empresas.</p> <p>Modelo de framework foi testado em uma pequena e média empresa do Canadá.</p>	<p>Evidenciou-se que a integração do mapeamento do fluxo de valor e tecnologia de simulação híbrida: simulação de evento discreto e agente baseado em modelagem e simulação, podem auxiliar no desenvolvimento da implantação da I 4.0. Auxiliando empresas no entendimento das mudanças em materiais, equipamentos, processos e fluxo de informações. Por meio da simulação, observou-se que a quantidade de peças em processo de fabricação pode diminuir consideravelmente. Assim como, foi</p>

possível observar reduções no takt time, e redução no nível de inventário na planta.

Huang, Z. et al. (2022)	Demonstrar como integrar máquinas dentro de um sistema digital de mapeamento de fluxo de valor retroalimentando com informações pertinentes o design de produtos. Estudo de caso em uma pequena e média empresa metal mecânica Australiana	Discutiu-se o modelo de arquitetura de referência para a I 4.0 (RAMI 4.0). Construído em uma série de abordagens existentes e utilizáveis, este modelo fornece uma versão mais abrangente da I 4.0, combinando os conceitos de integração vertical, integração horizontal e avaliação do ciclo de vida de produtos.
Ghaithan, A. et al. (2021)	Analisar o impacto e a relação casual das tecnologias da I 4.0 e/LM integradas no desempenho da sustentabilidade de indústrias de plástico e petroquímicas na Arábia Saudita. Aplicação de questionário de pesquisa adaptado de Kamble S. et al. (2020) aplicado com 143 empresas fabricantes de plásticos e petroquímicas.	Os resultados mostraram que a integração do LM e I 4.0 tem impacto positivo no desempenho da sustentabilidade. Apresentou-se uma lista de conceitos para a I 4.0, LM e desempenho sustentável. Evidenciou-se que tecnologias da I 4.0 influenciam direta e positivamente no desempenho de sustentabilidade, confirmando que as tecnologias da I 4.0 podem ter um impacto profundo nas medidas de desempenho de sustentabilidade nas indústrias de plástico e petroquímicas sauditas. Sendo IOT, seguido de big data e computação em nuvem as tecnologias prioritárias no desenvolvimento da sustentabilidade. Evidenciou-se que as tecnologias da I 4.0 melhoram positivamente as práticas do LM.
Ramadan, M. et al. (2020)	O objetivo principal deste artigo é apresentar uma estrutura LM baseada na I 4.0: mapeamento dinâmico do fluxo de valor (DVSM), proposto para ser uma plataforma de tecnologia da informação inteligente que reduz desperdícios e maximiza o valor. Desenvolvimento de um modelo de prioridade de despacho em tempo real.	Os resultados do modelo foram comprovados por meio de simulações com o modelo de agendamento e despacho em tempo real desenvolvido; em diferentes cenários de simulações realizadas em laboratório de fábricas inteligentes e I 4.0 da King Saud University.
Ghouat, M. et al. (2021)	Expor que o conceito I 4.0 incorpora a abordagem de fabricação do LM, alimentando e analisando dados em tempo real com o bigdata em um ambiente de produção CPS, a fim de melhorar a tomada de decisões. Revisão da literatura.	Evidenciou-se os impactos de 15 tecnologias da I 4.0 na captura em tempo real das necessidades da manufatura. Assim como, na gestão em tempo real de inventário em processo de fabricação; ajuste em tempo real do planejamento de produção; gerenciamento em tempo real das capacidades de produção; gestão do planejamento de produção; gerenciamento em tempo real de configurações de máquinas; reporte de produção em tempo real; e gestão em tempo real de manutenção de máquinas.

Fonte: Autoria própria (2022)

Analizou-se 6 revisões da literatura, 4 revisões sistemáticas da literatura, 1 estado da arte da literatura, 1 modelo framework e 1 modelo de prioridade de despacho em tempo real. Em conjunto com outros métodos ou isoladamente, 9 questionários e 5 estudos de caso foram aplicados.

35% dos autores avaliados: Sanders, A. et al. (2016), Buer, S.V. et al. (2018), Pagliosa, M. et al. (2021), Tortorella, G.L. et al. (2021), Anosike, A. et al. (2021), Cifone, F.D. et al. (2021) e Ghouat, M. et al. (2021) apresentam publicações voltadas para diferentes análises da integração de tecnologias da I 4.0 e práticas.

30% dos autores estudados: LM. Varela, L. et al. (2019), Amjad, M.S. et al. (2021), Dixit, A. et al. (2022), Kamble, S. et al. (2020) e Ghaithan, A. et al. (2021) avaliam a integração de tecnologias da I 4.0 e práticas LM no âmbito da sustentabilidade e desempenho sustentável.

20% dos autores estudados: Ferreira, W.d.P. et al. (2022), Huang, Z. et al. (2022), Huang, Z. et al. (2019), Ramadan, M. et al. (2020) examinam a integração de tecnologias da I 4.0 e a prática de mapeamento do fluxo de valor do LM resultando em um novo modelo chamado mapeamento do fluxo de valor dinâmico.

15% dos autores avaliados: Pacchini, A.P.T. et al. (2019) e Palange, A. and Dhattrak, P. (2021) avaliam isoladamente o LM ou I 4.0

4. Conclusão

Verificou-se por meio da revisão sistemática da literatura, proposta por Pagani *et al.*, (2015), qual aplica a ordenação de relevância conforme número de citações, fator de impacto e ano de publicação, que vinte artigos possuem alta relevância e abordam a integração da manufatura enxuta e indústria 4.0.

Assim como, analisou-se quais são consequências diretas geradas por essa integração. Onde, dentro do portfólio estudado, 35% dos autores apresentam publicações voltadas para diferentes análises da integração de tecnologias da I 4.0 e práticas LM. 30% dos autores avaliam a integração de tecnologias da I 4.0 e práticas LM no âmbito da sustentabilidade e desempenho sustentável. 20% autores examinam a integração de tecnologias da I 4.0 e a prática de mapeamento do fluxo de valor do LM resultando em um novo modelo chamado mapeamento do fluxo de valor dinâmico. E 15% dos autores avaliam isoladamente o LM e I 4.0.

Uma limitação de análise foi observada devido a 1 artigo do portfólio possuir acesso restrito.

O artigo serve como base literária atualizada para análise dos objetivos, métodos e resultados da integração do LM e I 4.0 por acadêmicos e profissionais da área da engenharia.

Referências

- AMJAD, Muhammad Saad; RAFIQUE, Muhammad Zeeshan; KHAN, Mohammad Aamir. Leveraging Optimized and Cleaner Production through Industry 4.0. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 859–871, 2021.
- ANOSIKE, Anthony; ALAFROPATIS, Konstantinos; GARZA-REYES, Jose Arturo; *et al.* Lean manufacturing and internet of things – A synergetic or antagonist relationship? **Computers in Industry**, v. 129, p. 103464, 2021.
- BUER, Sven-Vegard; STRANDHAGEN, Jan Ola; CHAN, Felix T. S. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2924–2940, 2018.
- CIFONE, Fabiana Dafne; HOBBERG, Kai; HOLWEG, Matthias; *et al.* ‘Lean 4.0’: How can digital technologies support lean practices? **International Journal of Production Economics**, v. 241, p. 108258, 2021.
- DIXIT, Aasheesh; JAKHAR, Suresh Kumar; KUMAR, Patanjali. Does lean and sustainable manufacturing lead to Industry 4.0 adoption: The mediating role of ambidextrous innovation capabilities. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 175, p. 121328, 2022.
- FERREIRA, William de Paula; ARMELLINI, Fabiano; SANTA-EULALIA, Luis Antonio de; *et al.* Extending the lean value stream mapping to the context of Industry 4.0: An agent-based technology approach. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 63, p. 1–14, 2022.
- GHAITHAN, Ahmed; KHAN, Mohammed; MOHAMMED, Awsan; *et al.* Impact of Industry 4.0 and Lean Manufacturing on the Sustainability Performance of Plastic and Petrochemical Organizations in Saudi Arabia. **Sustainability**, v. 13, n. 20, p. 11252, 2021.
- GHOUBAT, M; HADDOUT, A.; BENHADOU, M. Impact of Industry 4.0 Concept on the Levers of Lean Manufacturing Approach in Manufacturing Industries. **International Journal of Automotive and Mechanical Engineering**, v. 18, n. 1, 2021.
- HUANG, Zhuoyu; JOWERS, Casey; KENT, Damon; *et al.* The implementation of Industry 4.0 in manufacturing: from lean manufacturing to product design. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 121, n. 5–6, p. 3351–3367, 2022.
- HUANG, Zhuoyu; KIM, Jiwon; SADRI, Alireza; *et al.* Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 52, p. 1–12, 2019.
- KAMBLE, Sachin; GUNASEKARAN, Angappa; DHONE, Neelkanth C. Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 5, p. 1319–1337, 2020.

PACCHINI, Athos Paulo Tadeu; LUCATO, Wagner Cezar; FACCHINI, Francesco; *et al.* The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 113, p. 103125, 2019.

PAGANI, Regina Negri., KOVALESKI, João Luis & RESENDE, Luis Mauricio. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, p. 2109–2135, 2015.

PAGLIOSA, Marcos; TORTORELLA, Guilherme; FERREIRA, Joao Carlos Espindola. Industry 4.0 and Lean Manufacturing: A systematic literature review and future research directions. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32, n. 3, p. 543–569, 2019.

PALANGE, Atul; DHATRAK, Pankaj. Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 729–736, 2021.

RAMADAN, Muawia; SALAH, Bashir; OTHMAN, Mohammed; *et al.* Industry 4.0-Based Real-Time Scheduling and Dispatching in Lean Manufacturing Systems. **Sustainability**, v. 12, n. 6, p. 2272, 2020.

SANDERS, Adam; ELANGESWARAN, Chola; WULFSBERG, Jens. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 3, p. 811–833, 2016.

TORTORELLA, Guilherme Luz; NARAYANAMURTHY, Gopalakrishnan; THURER, Matthias. Identifying pathways to a high-performing lean automation implementation: An empirical study in the manufacturing industry. **International Journal of Production Economics**, v. 231, p. 107918, 2021.

TOURIKI, Fatima Ezahra; BENKHATI, Imane; KAMBLE, Sachin S.; *et al.* An integrated smart, green, resilient, and lean manufacturing framework: A literature review and future research directions. **Journal of Cleaner Production**, v. 319, p. 128691, 2021.

VARELA, Leonilde; ARAÚJO, Adriana; ÁVILA, Paulo; *et al.* Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability. **Sustainability**, v. 11, n. 5, p. 1439, 2019.