

IMPACTO DA INDÚSTRIA 4.0 NO CONCEITO LEAN MANUFACTURING: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

JOSÉ MARTINO NETO (CPS FATEC GUARULHOS)

jose.martino@fatec.sp.gov.br

VALÉRIO ANTONIO PAMPLONA SALOMON (UNESP)

Valerio.salomon@unesp.br

GETÚLIO KAZUE AKABANE (PUC-SP)

getulio@akabane.adm.br

RESUMO

O mundo industrial vive a onda da Indústria 4.0, incorporando novas tecnologias capazes de assegurar novas formas de competitividade em um mercado globalizado. Porém, devemos entender como será a integração com o conceito Lean Manufacturing, amplamente difundido e incorporado pela organizações. Por meio de revisão bibliográfica sistemática, o objetivo desse artigo é investigar os impactos da Indústria 4.0 no conceito Lean, de modo a diagnosticar possíveis lacunas, visualizar oportunidades de pesquisa e compreender como esses domínios podem se interagir. Os resultados mostram que existem divergências conceituais de integração entre modelos pesquisados, bem como a necessidade de validações práticas.

Palavras-chave: Industria 4.0, Lean Manufacturing, Revisão Bibliográfica Sistemática.

1. INTRODUÇÃO

A globalização no ambiente econômico, faz com que as organizações busquem continuamente estratégias modernas de gestão para melhorar seus sistemas de produção, segundo Gondolf et al. (2019). A globalização acirra a concorrência entre as organizações tendo como consequência a necessidade em criar alternativas, em termos de produtos ou serviços. Mais ofertas sem a contra partida de demandas, geram a importância da renovação de produtos para atrair consumidores e afastar competidores, associada a ações para redução de *lead times*, aumento dos níveis de serviço, aumentando a complexidade e a diversidade industrial. Esse é o desafio para as organizações, estarem cada vez mais preparadas para competir nesse novo cenário.

A contribuição acadêmica desse artigo é preencher uma possível lacuna identificada quando se pesquisa a interação entre os conceitos de gestão de produção, especificamente Lean Manufacturing (LM) e Indústria 4.0 (I4). Para tanto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica

sistemática que segundo Brereton et al. (2007) permite uma avaliação rigorosa e confiável das pesquisas realizadas em temas específicos.

Sony (2018) afirma que o conceito de LM, oriundo do Sistema Toyota de Produção (STP) desenvolvido por Taiichi Ono, vem sendo amplamente utilizado nas últimas três décadas pelas indústrias. Para Sanders et al. (2016), o conceito LM é considerado como uma metodologia que visa melhorar a produtividade e reduzir custos nas organizações de manufatura por meio de esforços consistentes e conscientes principalmente na eliminação de atividades que não agregam valor.

Entretanto, Kolberg e Zühlke (2015) afirmam que como o LM foi inventado no século passado, essa metodologia não leva em consideração as possibilidades das tecnologias de informação e comunicação atuais.

Para lidar com os desafios crescentes, segundo Dombowski et al. (2018), a I4 foi apresentada na cidade alemã de Hannover, em 2011. Kolberg e Zühlke (2015) afirmam que a I4 permite a otimização das cadeias de valor pela implementação de uma produção autônoma e dinâmica, incorporando as mais recentes tecnologias de algoritmos inteligentes. Prinz et al. (2018) complementam que a I4 representa uma rede entre o mundo real e o mundo cibernético, utilizando sistemas cibernético-físicos (CPS, *cyber-physical system*) que permitem criar as fábricas inteligentes.

Em contrapartida, a implantação da I4 é de alto custo e é recebido com relutância por vários fabricantes (SANDERS et al., 2018), principalmente entre as pequenas e médias empresas. Há várias dimensões inexploradas, como os impactos do conceito LM com a I4, como afirmam Kolberg e Zühlke (2015) e Leyh et al. (2017). Ambos paradigmas de produção continuam promissores para resolver os futuros desafios da manufatura, a questão é como eles podem se relacionar (MAYR et al., 2018).

Dentre desse contexto o objetivo dessa pesquisa é investigar os impactos das novas tecnologias da I4 sobre os princípios do conceito LM.

A relevância desse trabalho se justifica, pois os conceitos e tecnologias da I4 estão cada vez mais presentes no dia-a-dia das empresas, a competitividade cada vez maior e as alternativas

possíveis de viabilidade econômica de projetos devem ser aceleradas para mitigar impactos garantindo a sobrevivência de seus negócios.

Com base na investigação realizada nessa pesquisa, serão apresentadas diferentes perspectivas de interação que poderiam ser utilizadas para preencher essa lacuna identificada pelos impactos da I4 sobre LM.

A estruturação do artigo será apresentar uma breve conceituação para I4 e LM, seguido das perspectivas possíveis de interação entre os conceitos, segundo os autores pesquisados. Salienta-se a delimitação dessa pesquisa em função da base de dados utilizada, dos autores pesquisados e do período analisado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Lean Manufacturing

Womack et al. (1990) definiram LM no livro *A máquina que mudou o mundo*, e apresentam como a indústria automotiva se desenvolveu até o STP.

Shimokawa e Fujimoto (2011) afirmam que o STP é resultado da solução sistêmica de problemas, baseado em uma abordagem conceitual, utilizando-se de uma estrutura de ferramentas preexistentes. Porém, na prática, o sistema é a experiência compartilhada por pessoas que desempenham papéis de forma a garantir a qualidade do processo e a criação de valor para o produto ou para o serviço executado.

A base de sustentação do STP foi o desenvolvimento e a implantação de dois princípios fundamentais. O primeiro, Just in Time (JIT). Para Guinato (2000), JIT significa que cada processo deve ser suprido com os itens certos, no momento certo, na quantidade certa e no local certo. O objetivo é identificar, localizar e eliminar perdas, garantindo um fluxo contínuo de produção. O segundo princípio é a “autonomação”, ou *jidoka*, em japonês, que consiste em facultar ao operador a autonomia de interromper a operação sempre que for detectada qualquer não conformidade ou quando a quantidade planejada de produção for atingida.

LM, ou Produção Enxuta, é um sistema de gestão que visa eliminar desperdícios e acrescenta valor ao produto ou serviço, satisfazendo desta forma o cliente e o consumidor final utilizando as boas práticas do STP.

Smeds (1994) reforça afirmando que, a reorganização da manufatura, de acordo com os princípios de produção enxuta, pode disparar uma mudança organizacional radical, com uma nova estrutura, estratégia e cultura.

A busca contínua pela eliminação dos desperdícios, de modo que todos os trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente no chão de fábrica possam dividir tarefas e responsabilidades no desenvolvimento de equipes, com transparência e com *feedbacks* constantes é considerado um dos pilares do programa.

2 2.2. INDÚSTRIA 4.0

Segundo Kagermann et al. (2013) as principais ideias da I4 foram publicadas pela primeira vez em 2011, por uma iniciativa estratégica do governo alemão incluída no “Plano de Ação Estratégica de Alta Tecnologia 2020”. Estratégias semelhantes também foram propostas em outros países como, por exemplo, os Estados Unidos com o slogan de “Fábricas do Futuro” e “Internet Industrial” e China com a proposta de “Internet +”.

Os principais componentes da I4, de acordo com Roblek et al. (2016) incluem a internet das coisas (IoT), internet de serviços (IoS) e os sistemas CPS. Em conjunto, essas tecnologias permitem a comunicação contínua de informações entre pessoas (C2C, *consumer to consumer*), pessoas e máquinas (C2M, *consumer to machine*) e entre as próprias máquinas (M2M, *machine to machine*).

Wagner et al. (2017) complementam descrevendo que a Indústria 4.0 é definida como uma visão industrial capaz de conectar pessoas e coisas a qualquer tempo, em qualquer lugar, com qualquer coisa e qualquer pessoa de modo ideal utilizando-se de sistemas CPS. Os autores afirmam que o CPS combina o mundo físico com o mundo cibernético por meio de ciclos controlados por computadores incorporados. Para Sony (2018), os principais papéis do CPS são alcançar agilidade e requisitos dinâmicos de produção, e deve também procurar a eficiência e a eficácia de toda a organização. Corroborando, Mrugalska e Wyrwicka (2017) afirmam que com a introdução do CPS e da IoT, será possível correlacionar e projetar uma evolução dos conceitos de produção conforme se observa na Figura 1 a seguir.

Figura 1: Evolução dos conceitos de produção

Item	Pas sado	Pre sente	Futuro
Sistemas de Comunicação	Analógico	Internet e Intranet	IoT, CPS
Conceito	Neo Taylorismo	Produção Enxuta	Fábricas Inteligentes
Solução	Mecanização, Automação	Automação, Computadorização	Vitualização, Integração

Fonte: Mrugalska e Wyrwicka (2017)

3. MÉTODO DA PESQUISA

A pesquisa utiliza-se do conceito de revisão bibliográfica sistemática, que segundo Biolchini et al. (2007) é um instrumento para mapear trabalhos publicados no tema de pesquisa específico para que o pesquisador seja capaz de elaborar uma síntese do conhecimento existente sobre o assunto.

A base de dados utilizada foi o Periódicos Capes e as palavras chaves foram “industry 4.0”, “lean manufacturing” e “lean production”. Os filtros definidos foram em relação ao período dos artigos selecionados entre 2014 e 2020 e periódicos revisados por pares. A pesquisa identificou 130 artigos, sendo 102 da coleção Scopus (Elsevier) e 52 da coleção Web of Science, adotados como fonte primária.

Seguindo o modelo proposto por Biolchini et al. (2007), foram definidos os critérios de qualificação dos artigos levando em consideração o objetivo da pesquisa. O primeiro filtro foi a leitura do título, resumo e palavras-chave. O segundo filtro foi a leitura da introdução e da conclusão e o terceiro filtro foi a leitura completa dos artigos selecionados. Os critérios de exclusão foram a não aderência identificada em relação a investigação dos conceitos propostos. A Figura 2, apresenta 22 artigos selecionados em ordem cronológica.

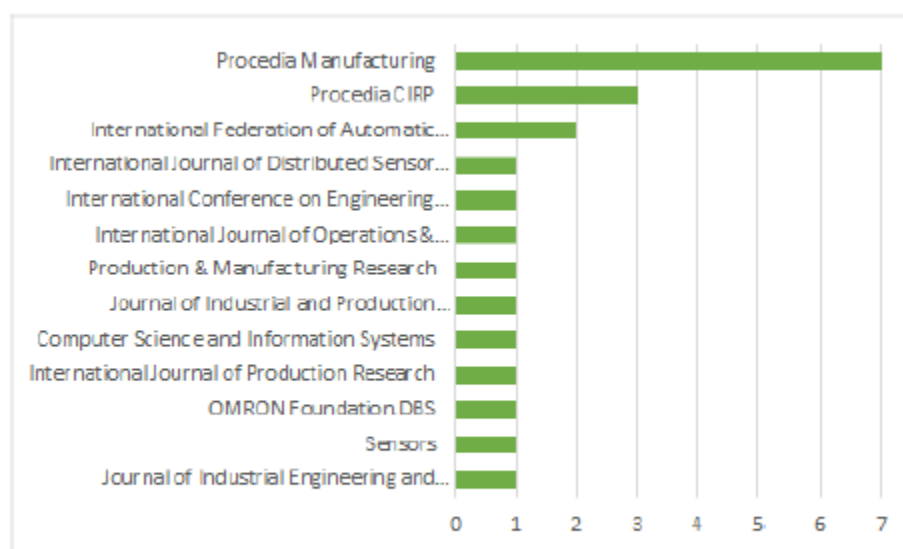
Figura 2: Artigos selecionados

Ano	Autor	País	Título	
1	2015	Kolberg e Zühlke	Alemanha	Lean automation enabled by I4 technologies.
2	2016	Sanders et al.	Alemanha	Industry 4.0 implies lean manufact: research activities in industry 4.0 function as enablers for LM.
3	2017	Dombrowski et al.	Alemanha	Interdependencies of I4 & Lean Production Systems - an use case.
4	2017	Wagner et al.	Alemanha	Industry 4.0 impacts on lean production systems.
5	2017	Davies et al.	Reino Unido	Review of sociotechnical considerations yo ensure successful implementation of I4.
6	2017	Mrugalska et al.	Polónia	Towards lean production in I4.
7	2017	Kolberg et al.	Alemanha	Towards a lean automation interface for workstations.
8	2017	Ma et al.	China	SLAE -CPS; Smart lean automation engine enabled by cyber physical systems technologies.
9	2017	Yin et al.	Japão	The evolution of production systems from Industry 2.0 through industry 4.0.
10	2018	Enke et al.	Alemanha	Industry 4.0 Competences for a modern production system: a curriculum for learning.
11	2018	Prinz et al.	Alemanha	Lean meets I4 a practical approach to interlink the method world ans cyber physical world.
12	2018	Mayr et al.	Alemanha	Lean 4.0 a conceptual conjunction of lean management and I4.
13	2018	Wagner et al.	Alemanha	Identifying target oriented I4 potentialsin lean automotiveelectronics value streams.
14	2018	Bauer et al.	Alemanha	Integration of I4 in LM learning factories.
15	2018	Buer et al.	Alemanha	Link between I4 e LM mapping current research and establishing a research agenda.
16	2018	Leyh et al.	Alemanha	Analyzing industry 4.0 models with focus on lean production aspects.
17	2018	Fettermann et al.	Brasil	How does industry 4.0 contribute to operations management.
18	2018	Uriarte et al.	Suécia	Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of industry 4.0.
19	2018	Souy M.	Reino Unido	I4 and lean management: a proposed integration model and research propositions.
20	2019	Tortorella et al.	Brasil	I4 adoption as a moderator of the impact of lean practices on operational performance improvement.
21	2019	Wichmann et al.	Estados Unidos	The direction of industry: a literature review on Industry 4.0.
22	2019	Wang et al.	China	Implementing smart factories of Industrie 4.0: An outlook.

Fonte: Elaborado pelos autores

A Figura 3 apresenta a distribuição por periódicos dos artigos selecionados.

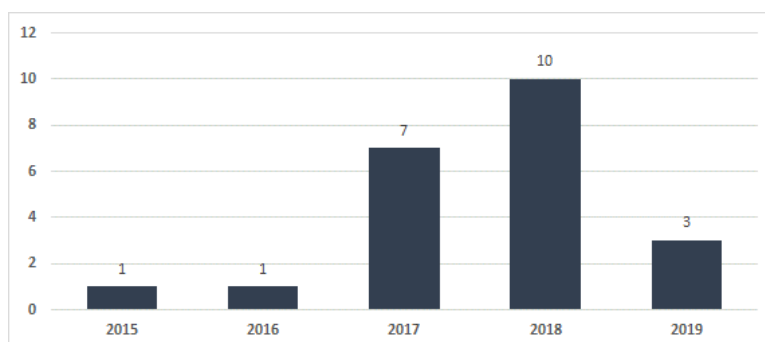
Figura 3: Artigos por periódicos



Fonte: Elaborado pelos autores

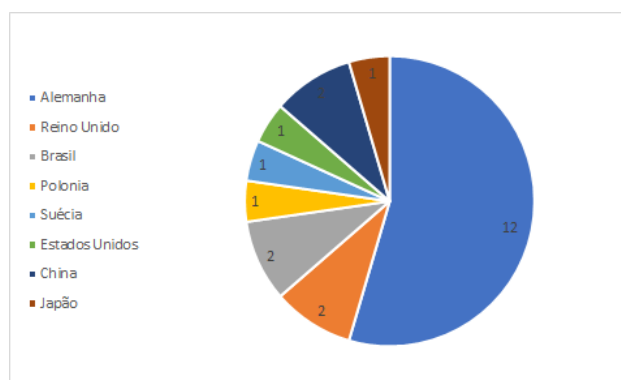
Na Figura 4 é possível visualizar a quantidade de artigos publicados por período e na Figura 5 o país de origem do artigo, com ênfase para a Alemanha, idealizador da I4, responsável pelo maior volume de artigos selecionados.

Figura 4: Artigos por data



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5: Artigos por país



Fonte: Elaborado pelos autores

Com base na pesquisa realizada, é possível identificar diferentes linhas de pensamento dos autores selecionados, que discutem a correlação entre o conceito LM e I4.

De acordo com Longo (2017), a correlação será a reprodução do mesmo tipo de desperdício na automação de um processo ineficiente que necessariamente não irá transformá-lo em um processo eficiente. Por essa razão, os conceitos LM tais como padronização, organização e transparência são destacados na literatura (LEYH et al., 2017; PRINZ et al., 2018; TORTORELLA et al., 2019 e FETTERMANN et al., 2018) como pilares para a implantação de soluções relativas a I4.

Segundo Buer et al. (2018) a LM alterou com sucesso as práticas de produção em massa, oferecendo maior flexibilidade nos sistemas de produção e processos. A I4 conecta os mundos físicos e virtuais nos processos de produção e serviços. É evidente que o alto investimento requerido na implantação de tais tecnologias para digitalizar os processos produtivos no contexto da I4 só faz sentido se os processos estiverem sob controle e sem desperdícios, premissas básicas da LM.

De acordo com Sanders et al. (2016) a I4 é vista como uma mudança de paradigma na manufatura e a relação entre LM e I4 deve ser examinada. LM é uma metodologia focada no cliente que busca oferecer valor percebido pelo cliente através do uso mínimo de recursos e eliminação de desperdícios. Ainda de acordo com os autores o comprometimento com a I4 pode ajudar a superar barreiras para implementar o LM. Para Mrugalska e Wyrwicka (2017), I4 e LM podem coexistir e apoiar-se mutuamente.

Quando se analisa LM e a I4 segundo Mayr et al. (2017), utilizam-se os termos Lean 4.0, Lean Manufacturing 4.0 e Smart Lean. Os autores complementam que essa perspectiva pode ser atribuída a semelhanças em relação a metas como a redução de complexidade, pilares e princípios enxutos com senso comum.

De modo sumarizado foram identificados quatro modelos de maturidade, que serão discutidos e apresentados a seguir.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os quatro modelos de maturidade identificados na pesquisa foram agrupados por linha de pensamento dos autores pesquisados, conforme figura 6 e podem ser definidos com base nas seguintes perspectivas:

- LM como facilitador para a implantação da I4;
- I4 como uma evolução de LM;
- Correlação positiva entre LM e I4;
- Barreiras e dificuldades de realizar a integração LM e I4.

É possível observar que determinados autores defendem mais de uma perspectiva de integração, comprovando a complexidade da sua definição, perspectivas essas que serão apresentadas a seguir.

Figura 6: Modelos de maturidade por autores pesquisados

Perspectivas	Autores
LM como facilitador da I4	Kolberg et al.; Leyh et al.; Davies et al.; Buer et al.; Prinz et al.; Enke et al.; Uriarte et al.; Tortorella et al.
I4 como facilitador do LM	Wagner et al.; Kolberg et al.; Davies et al.; Sanders et al.; Dombrowsky et al.; Mayr et al.; Yin et al.; Ma et al.; Wang et al.; Enke et al.; Fettermann et al.
Correlação positiva entre LM e I4	Sanders et al.; Mrugalska et al.; Kolberg et al.; Bauer et al.; Sony; Wichmann et al.
Barreiras e dificuldades na integração	Kolberg et al.; Yin et al.; Ma et al.

Fonte: Elaborado pelos autores

4.1. LEAN MANUFACTURING COMO FACILITADOR DA INDÚSTRIA 4.0

Prinz et al. (2018) demonstram a necessidade da LM como requisito para a I4, pois, as empresas estão sob influência de vários fatores de transformação que representam maiores desafios. Além da globalização que desafia a competitividade das empresas em países com altos salários, a busca pela personalização de produtos com lotes de produção cada vez menores e a alta exigência para adaptar-se aos novos sistemas de produção como a I4 são desafios extremamente complexos.

A introdução dos sistemas CPS na produção implica na digitalização e apresenta-se como uma atividade de alto custo especialmente pra pequenas e médias empresas. Por outro lado, a origem de LM no STP, que busca a eliminação de desperdícios com foco em aprimorar as atividades que agregam valor com a participação ativa dos colaboradores, utilizando *kaizen* para melhoria contínua, gestão à vista e o *empowerment* como exemplos de alguns de seus pilares.

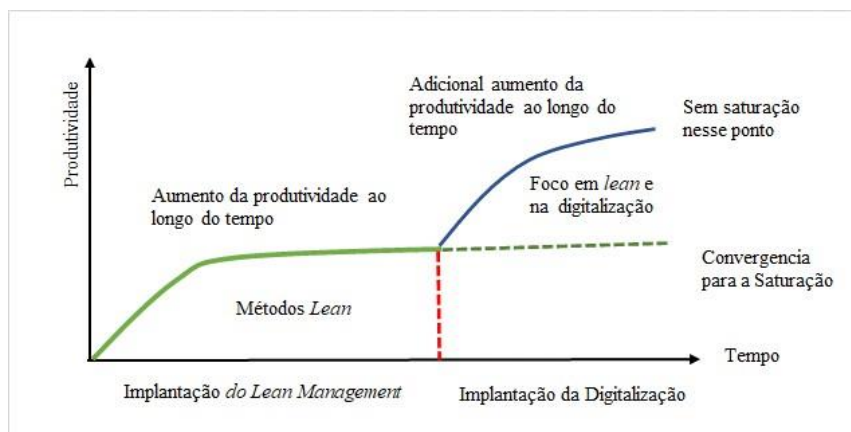
Uriarte et al. (2018) reafirmam que ao contrário de LM, a I4 representa uma abordagem orientada à tecnologia e representa uma rede entre o mundo real e o mundo cibernético.

Davies et al. (2017) corroboram afirmando que um ambiente industrial enxuto é um facilitador para a implementação da I4, pois LM cria a cultura da melhoria contínua, a cultura a mudanças tanto do corpo gerencial como dos colaboradores além da estrutura voltada a soluções de problemas. Os autores complementam afirmando que para haver um ambiente LM, os processos devem estar estáveis, produtivos e eficientes, sem atrasos e com o mínimo de defeitos, ou seja, propícia o ambiente ideal para implantar a cultura da I4.

Ainda de acordo com Prinz et al. (2018), embora no passado o objetivo da meta de produtividade dos sistemas de produção pudesse ser alcançado com LM, a produtividade agora pode ser aumentada com a introdução da I4, como é possível ser observado na Figura 7.

Convergem a essa proposta Kolberg et Zühlke (2015) que defendem que LM atingiu o seu limite, ou seja, a saturação, por ter sido criado quando não havia as tecnologias de comunicação e informação atuais.

Figura 7: Possível aumento de produtividade com a interação entre LM e I4



Fonte : Adaptado de Prinz et al. (2017)

4.2. INDÚSTRIA 4.0 COMO AVANÇO DO CONCEITO LEAN MANUFACTURING

Essa perspectiva defendida por determinados autores apresenta a I4 como uma possível evolução de LM. Wagner et al. (2018) descrevem que os processos podem ser estabilizados e refinados aplicando os conceitos da I4, pois contribui para tratar as limitações de LM. Obter dados em tempo real aumenta a qualidade das informações, como lidar com as demandas flutuantes comparadas as demandas de produção niveladas como acontece com LM.

Sanders et al. (2016) e Mayr et al. (2018) apresentam as expressões Lean Automation e Lean 4.0, como evolução do conceito *jidoka*, pilar do STP, para representar a evolução de LM. Para Davies et al. (2017) a I4 fornece toda a infraestrutura para potencialmente aprimorar a capacidade LM de uma organização, tanto no nível operacional quanto no corporativo. Complementam que no nível operacional, as métricas de desempenho e os dados operacionais podem transmitir em tempo real através da rede CPS, permitindo atualizações *on time*, como por exemplo:

- *Kanban* eletrônico – eliminando os cartões convencionais de modo que as ordens de produção possam ser transmitidas automaticamente ao processo em função do nível de estoque desejado;

- Métricas de produção – podem ser capturadas automaticamente e disponibilizadas por meio de dispositivos portáteis inteligentes;
- Manutenção Produtiva Total – uso acentuado de sensores para envio de informações, bem como o uso da realidade aumentada na consulta de dados;
- Análise de dados – métodos estatísticos convencionais podem ser aplicados com base em informações capturadas em tempo real para otimizar análises, atividades de melhoria contínua, uso de métodos preditivos em maior escala;
- Mapeamento virtual de fluxo de valor – O mapeamento de fluxo de valor, não será mais convencional e sim virtual, onde os modelos de estado atuais e futuros podem ser observados (DAVIES et al., 2017).

Complementando essa perspectiva, Wagner et al. (2017) apresentam pesquisa realizada em cooperação com uma grande multinacional do segmento automobilístico, com os principais líderes de projetos em LM e na I4. As novas tecnologias foram ranqueadas por impacto estimado em LM, sendo + pouco positivo, ++ alto impacto e +++ o mais alto impacto possível, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8: Matriz de impacto de I4 em LM

Item	Sensores e Atuadores	Computação em nuvem	Big Data	Realidade Aumentada	Realidade Virtual	CPS
5 S	+	+	+	+++	++	+
Kaizen	+	++	+++	+++	+++	+++
Just in Time	++	++	+++	++	+	+++
Jidoka	+	+++	+++	+	+	++
Heijunka	++	++	+++	+	++	++
Padronização	++	+++	+++	+++	+++	+++
Takt time	+	+	+++	+	+	+++
Sistema Puxar	++	+	+	+	+	+++
Redução Desperdício	+	+	++	+	+	+++
Equipes de trabalho	+	+	+	+++	+++	+
Oper Homem máquina	+	+	++	+++	+++	+

Fonte: Adaptado de Wagner et al. (2017)

4.3. CORRELAÇÃO POSITIVA ENTRE A INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING

Mrugalska e Wyrwicka (2017) apoiam a ideia de que a I4 e LM podem coexistir e apoiar um ao outro, pois a perspectiva da correlação entre os conceitos pode ser atribuída a semelhanças em relação a metas como a redução da complexidade, pilares e princípios enxutos.

Para Wang et al. (2016) e Kolberg e Zühlke (2015) a correlação pode ser classificada com base nos princípios de integração vertical, horizontal e de ponta a ponta associados a cinco pilares de LM: identificação de valor, mapeamento de fluxo de valor, busca pela perfeição, sistema *pull*, e criação de valor. Integração vertical diz respeito a sistemas de produção inteligentes como as *smart factories*, produtos inteligentes, a rede logística inteligente com uma forte orientação para as necessidades dos clientes. Mrugalska e Wyrwicka (2017) referem-se à integração horizontal com a possibilidade de gerar redes de criação de valor envolvendo a integração de diferentes agentes, como parceiros e clientes em modelos de negócios e cooperação. A digitalização de toda a cadeia de suprimentos poderá trazer benefícios para toda a organização e para os clientes (CHRISTOPHER, 2016). A integração ponta a ponta, segundo Wang et al. (2016) visa obter ganhos em design de produtos e processos de fabricação.

4.4. BARREIRAS E DIFICULDADES DA INTEGRAÇÃO ENTRE A INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING

Como apresentado, diversos autores descrevem sob as diferentes possibilidades de integração entre os conceitos em questão. Porém, entre os autores é quase unanime que existem limites, barreiras e dificuldades para a interação.

Kolberg e Zühlke (2015) afirmam que os métodos LM atingiram os seus limites em ambientes complexos de fabricação, como é o caso de I4. Ma et al. (2017) enfatizam que as maiores limitações da integração implica na ausência de um entendimento da arquitetura que suporta a integração entre um dos principais pilares do conceito *lean*, que é o *jidoka*, comparado aos sistemas CPS. Yin et al. (2017) também defendem as limitações de interação entre os conceitos, afirmando que a customização em massa será uma vantagem competitiva e embora LM seja flexível e eficiente, não é capaz de atender a esse requisito, ao contrário da I4.

Portanto entende-se que LM tem as suas limitações no cenário atual, embora haja a necessidade de inclusão das novas tecnologias que compõe a I4. A viabilidade e eficácia da integração da I4 nos sistemas de LM ainda demanda muitos estudos (KOLBERG e ZÜHLKE, 2015).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contribuição acadêmica por meio de pesquisa bibliográfica de trabalhos científicos na gestão industrial se faz necessário para diagnosticar possíveis lacunas e visualizar oportunidades de aprofundamento no assunto. Um dos pontos identificados é que existem poucas comprovações práticas das interações entre LM e I4. Bauer et al. (2018) sugerem que as possíveis interações entre LM e a I4 ainda são imaturas e existe a necessidade de entender como esses domínios interagem.

O objetivo dessa pesquisa em investigar os impactos da I4 no LM foi atendido, apresentando as quatro perspectivas de interação mais relevantes por meio da amostra da literatura existente. Entende-se que as organizações serão habilitadas a otimizar seus níveis atuais de fabricação, e muitas organizações serão substituídas se não abordarem fundamentalmente os novos paradigmas de indústria.

Deve-se definir algumas limitações em relação ao universo e a amostra do presente trabalho podendo gerar interpretações errôneas a respeito. Mesmo considerando a confiabilidade dos dados obtidos, é questionável a possibilidade de que determinadas organizações informem as estratégias adotadas, dificultando possíveis correlações.

Importante destacar que os dados da pesquisa desse artigo é representado por uma amostra não probabilística, portanto as inferências devem ser tratadas com certas restrições.

As conclusões deste estudo ilustram que ainda a muito a pesquisar sob as possíveis interações dos conceitos mas de qualquer modo, o tema é relevante e poderá ser utilizado para trabalhos futuros de modo a ampliar o tema desta pesquisa. Pode-se ainda relacionar o nível de maturidade da empresa com os resultados obtidos por meio da implantação de novos modelos de gestão, que como se afirma, são vitais para manter a competitividade das indústrias em um ambiente extremamente desafiador.

6. AGRADECIMENTOS

Processos 2017/22963-6 e 2020/00468-6, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

3 REFERÊNCIAS

BAUER, H.; BRANDL, F.; LOCK, C.; REINHART, G. Integration of Industrie 4.0 in Lean Manufacturing learning factories. **Procedia Manufacturing**, v. 23, p. 147-152, 2018.

BIOLCHINI, J.; MIAN, P.; NATALI, A.; CONTE, T.; TRAVASSOS, G. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. **Advanced Engineering Informatics**, v. 21, p. 133-151, 2007.

BRERETON, P.; KITCHENHAM, B.; BUDGEN, D. TURNER, M. KHALIL M. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **Journal of Systems and Software**, v. 80, p. 571 – 583, 2007.

BUER, S.; STRANDHAGEN, V.; CHAN, F.T.S. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research**, 2018.

CHRISTOPHER, M. **Logistics & supply chain management**. UK: Pearson; 2016.

DAVIES, R.; COOLE, T.; SMITH, A. Review of socio technical considerations to ensure successful implementation of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v.11, p. 1288-1295, 2017.

DOMBROWSKI, U.; RICHTER, T.; KRENKEL, P. Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A use case analysis. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1061-1068, 2017.

ENKE, J.; GLASS, R.; KREB, A.; HAMBACH, J.; TISCH, M.; METTERNICH, J. Industrie 4.0 – Competences for a modern production system. **Procedia Manufacturing**, v. 23, p. 267-272, 2018.

FETTERMANN, D.C.; CAVALCANTE, C.G.S.; ALMEIDA, T.D.; TORTORELLA, G.L. How does Industry 4.0 contribute to operations management? **Journal of Industrial and Production Engineering**, 2018.

- GONDOLF, E.W.; MARCUS, I.M.; DOUGHERTY, J. **The global economy: Divergent perspectives on economic change**. Ed. Routledge: New York, 2019.
- GUINATO, P. **Produção e Competitividade: Aplicações e Inovações**. Recife: Ed Adiel, 2000.
- KAGERMANN H, WAHLSTER W, HELBIG J. **Recommendations for implementation the strategy initiative Industrie 4.0**. National Academy of Science and Engineering: Deutsche Wirtschaft, 2013.
- KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D. Lean automation enabled by Industry 4.0 Technologies. **International Federation of Automatic Control**, v. 48-3, p. 1870-1875, 2015.
- LEYH, C.; MARTIN, S.; SCHÄFFER, T. Industry 4.0 and lean production – a matching relationship? An analysis of selected Industry 4.0 models. **Computers Science and Information Systems**, v.11, p. 989-993, 2017.
- LONGO, F.; NICOLETTI, E.; PADOVANO, A. Smart operators in Industry 4.0: A human centered approach to enhance operators's capabilities and competences within the new smart factory context. **Computers&Industrial Engineering**, v. 113, p. 144-159, 2017.
- MA, J.; WANG, Q.; ZHAO, Z. SLAE-CPS: Smart lean automation engine enabled by cyber-physical systems technologies. **Sensors: MDPI**, v. 17, p. 1500-1522, 2017.
- MAYR, A.; WEIGELT, M.; KÜHL, A.; GRIMM, S.; ERLI, A.; POTZEL, M.; FRANKE, J. Lean 4.0 – a conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 622-628, 2018.
- MRUGALSKA, B.; WYRWICKA, M.K. Towards lean production in Industry 4.0. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 466-473, 2017.
- PRINZ C.; KREGGENFELD, N.; KUHLENKÖTTER, B. Lean meets Industrie 4.0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. **Procedia Manufacturing**, v. 23, p. 21-26, 2018.
- ROBLEK, V.; MESKO, M.; KRAPEZ, A. **A Complex View of Industry 4.0**. SAGE Open, 2016.

SANDERS, C.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. 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, p. 811-833, 2016.

SMEDS, R. Managing change towards lean enterprises. **International journal of operations&production managment**. University Press, 1994.

SHIMOKAWA, K.; FUJIMOTO, T. **O nascimento do lean. Conversas com Taiichi Ono, Eiji Toyoda**. São Paulo: Lean Institute, Bookman 2011.

SONY, M. Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions.

Productions & Manufacturing Research, v. 6:1, p. 416-432, 2018.

TORTORELLA, G.L.; GIGLIO, R. VAN DUN, D.H. Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. **International Journal of Operations & Production Management**, 2019.

URIARTE, A.G.; NG, A.H.C.; MORIS, M.U. Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 25, p. 586-593, 2018.

WAGNER, T.; HERRMANN, C.; THIEDE, S. Industry 4.0 impacts on lean production systems. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 125-131, 2017.

WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZHANG, C. Implementing smart factory of Industrie 4.0: An outlook. **Hindawi Publishing Corporation**, 2016.

WHICHMANN, R.L.; BORIS, E.; KILIAN, G. The direction of Industry: A literature review on Industry 4.0.

International Conference on Engineering Design: ICED, 2019.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROSS, D. **The machine that changed the world**. Nova Iorque: Rawson Associated, 1990.

YIN, Y.; STECKE, K.E.; LI, D. The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0.

DBS, 2018