

INTERAÇÃO ENTRE AS PRÁTICAS LEAN MANUFACTURING E TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

JULIANO ENDRIGO SORDAN (UFSCar)

julianosordan@yahoo.com.br

Pedro Carlos Oprime (UFSCar)

pedro@dep.ufscar.br

Márcio Lopes Pimenta (Faculdade de Gestão e Negócios - UFU)

pimenta.mp@gmail.com

Carlos Renato Bueno (UFSCar)

c_bueno@hotmail.com

Clésio Aparecido Marinho (UFSCar)

clesio.marinho@yahoo.com.br



A implementação de tecnologias avançadas de manufatura tem se intensificado nos últimos anos com o advento da Indústria 4.0. Com isso, a digitalização dos processos de fabricação tornou-se uma importante pauta na agenda empresarial. Por outro lado, as práticas Lean Manufacturing têm se consolidado na comunidade científica como uma eficaz estratégia de excelência operacional capaz de gerar resultados em termos de custo, qualidade e velocidade. O presente trabalho tem como objetivo investigar pontos de convergência entre práticas Lean Manufacturing e tecnologias da Indústria 4.0. Para alcançar esse objetivo foi conduzida uma revisão sistemática de literatura em duas bases de dados internacionais. O estudo identifica 11 pontos de convergência entre os dois temas de pesquisa e evidencia possibilidades de interação de tecnologias digitais incluindo internet industrial das coisas, sistemas ciber-físicos, realidade aumentada, entre outras, no âmbito das práticas voltadas à estabilidade operacional e implementação dos pilares Just in Time e Jidoka. Desta forma, como contribuição teórica, a pesquisa revela os principais pontos de convergência entre tecnologias da Indústria 4.0 e práticas Lean Manufacturing. Como contribuição prática, o estudo amplia a possibilidade de implementação de tecnologias avançadas de manufatura em práticas de excelência operacional.

Palavras-chave: Lean Manufacturing, Indústria 4.0, excelência operacional, Revisão Sistemática de Literatura.

1. Introdução

A abordagem *Lean Manufacturing* (LM) tem sido amplamente adotada por organizações de diversos setores econômicos por meio da implementação de princípios, técnicas e ferramentas, com o objetivo de eliminar desperdícios inerentes aos processos empresariais. Essa abordagem foi projetada por Taiichi Ohno na década de 1950 com o propósito de reduzir os custos operacionais e aumentar a produtividade industrial com base em dois pilares essenciais: (i) *Just in Time* (JIT), que consiste em uma técnica para produzir a quantidade necessária no tempo necessário, por meio de um sistema de produção puxado; e (ii) *Jidoka*, que propõe a integração inteligente entre operador e máquina de modo a garantir a qualidade da produção com o auxílio de técnicas específicas incluindo dispositivos à prova de falhas, controles visuais e inspeção 100% automatizada (OHNO, 1988; WOMACK; JONES, 1996).

Diversos autores e praticantes têm utilizado o modelo conhecido como “Casa da Toyota” para descrever uma estrutura lógica de implementação do Sistema Toyota de Produção (STP). De acordo com esse modelo, os pilares JIT e *Jidoka* são sustentados por uma base (ou alicerce) que remete à “estabilidade operacional” em termos de mão de obra, máquinas, materiais e métodos. Assim, esses três elementos básicos do STP (estabilidade, JIT e *Jidoka*) produzem melhores resultados em termos de qualidade, custo e velocidade. Tais resultados representam o teto da casa da Toyota (LIKER, 2005; DENNIS, 2007; HOEFT, 2009).

Os princípios básicos do STP também foram apresentados por Womack e Jones, que sugerem a seguinte sequência de atividades para a implementação dos princípios LM: (1) especificação do valor sob o ponto de vista do cliente; (2) identificação do fluxo de valor para cada família de produto; (3) promoção do fluxo contínuo; (4) implementação do sistema puxado; e (5) busca contínua pela perfeição (WOMACK; JONES, 1996).

Recentemente, a integração entre as tecnologias da informação e automação industrial tem modificado o *modus operandi* dos processos de fabricação em diversos setores industriais. Neste sentido, o paradigma da Indústria 4.0 (I4.0) representa um estágio evolutivo dos sistemas de produção, onde os elementos físicos de uma fábrica são conectados em tempo real com o mundo digital, resultando em sistemas ciber-físicos (*Cyber-physical System* – CPS) ou “*SmartFactories*” (KAGERMANN *et al.*, 2013, RÜßMANN *et al.*, 2015, SANDERS *et al.*, 2016, KOLBERG *et al.*, 2017).

De acordo com o relatório intitulado "*Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*", publicado pelo Boston Consulting Group, um conjunto de nove tecnologias associadas com a indústria 4.0 transformarão o ambiente de manufatura nos próximos anos. São elas: (1) *Big Data Analytics*; (2) Robótica autônoma; (3) Simulação; (4) Integração de sistemas horizontal e vertical; (5) Internet Industrial das Coisas ou *Internet of Things* - IIoT; (6) Cibersegurança; (7) Computação em nuvem; (8) Manufatura aditiva; e (9) Realidade aumentada (RÜßMANN et al., 2015).

No âmbito da excelência operacional, espera-se que a integração dessas tecnologias possa otimizar a coleta e a análise dos dados provenientes dos processos de manufatura com grande acurácia e velocidade, aumentando as possibilidades para a melhoria do desempenho empresarial (AGARWAL; BREM, 2015; TAMÁS et al., 2016).

O presente artigo investiga as possibilidades de interação entre dois temas importantes para a competitividade das indústrias por meio de estudos publicados nas principais bases científicas. Especificamente, o estudo analisa os pontos de convergência entre práticas LM e tecnologias I4.0. Para alcançar esse objetivo, uma revisão sistemática de literatura foi conduzida para identificar exemplos práticos deste tipo de interação, de modo a compreender as possibilidades de interação rumo à indústria 4.0.

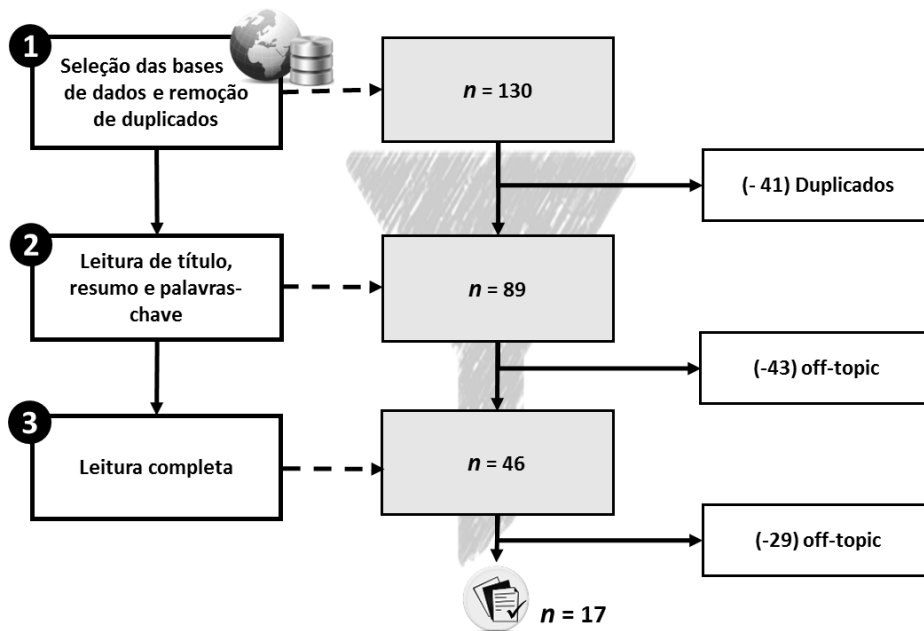
2. Método de pesquisa

O método de pesquisa escolhido para este estudo é a revisão sistemática de literatura, visto que é um método explícito, compreensível, sistemático e reproduzível, voltado para a identificação, avaliação e síntese dos trabalhos científicos produzidos por acadêmicos e praticantes (OKOLI; SCHABRAM, 2010). Além disso, a revisão sistemática de literatura oferece uma base sólida para a pesquisa futura e contribui para o desenvolvimento de teorias e alinhamento do conhecimento científico, identificando oportunidades para novos estudos (WEBSTER; WATSON, 2002).

A pesquisa incluiu trabalhos publicados entre o período de 2011 a 2018, visto que o termo “Indústria 4.0” passou a ser disseminado na comunidade científica a partir de 2011. O procedimento de busca foi realizado no mês de abril de 2019 usando duas bases de dados internacionais (Scopus[®] and Web of Science[™]), conforme sequência apresentada na figura 1. A

escolha por essas bases levou em conta a relevância dos trabalhos indexados, publicados em periódicos com fator de impacto, assim como a facilidade de acesso à essas publicações.

Figura 1 –Método de revisão sistemática de literatura



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para acessar os registros bibliográficos sobre a produção científica em torno do tema central da pesquisa foi aplicado um primeiro filtro, de acordo com a lógica booleana e usando o seguinte termo de busca: ((*"Industry 4.0"* OR *"manufacturing 4.0"* OR *"advancedmanufacturing"* OR *"fourth industrial revolution"*) AND (*"leanmanufacturing"* OR *"Just in Time"* OR *"TPS"*)).Foram recuperados 130 trabalhos na forma de artigos, capítulos de livros e artigos de conferências, sendo 79 publicações extraídas da base Scopus® e 51 publicações extraídas da base Web ofScience™. Contudo, foram removidos 41trabalhos duplicados.

Seguindo o método apresentado na figura 1, um segundo critério foi aplicado para filtrar as 89 publicações por meio da leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, resultando na filtragem de 46 trabalhos. O terceiro e último critério para a seleção dos artigos envolveu uma análise do conteúdo por meio da leitura completa desses trabalhos, buscando evidenciar a aderência das publicações quanto às possibilidades de interação entre as práticas LM e tecnologias I4.0. Desta forma, foram selecionados apenas artigos direcionados às práticas LM excluindo assim, trabalhos com referência a outros desdobramentos da abordagem *lean*, tais como *LeanHealth*

Care, *LeanOffice* e *LeanConstruction*. Tal procedimento resultou em uma amostra final composta por 17 artigos publicados em periódicos e conferências internacionais.

3. Revisão de literatura e resultados

3.1 Pontos de convergência

A leitura dos 17 artigos selecionados permitiu a identificação de 11 pontos de convergência entre as práticas LM e tecnologias I4.0. Observando a tabela 1, percebe-se que as interações mais expressivas com relação ao número de trabalhos publicados, estão voltadas para a possibilidade de substituição do sistema *kanban* convencional, implementado a partir do uso de cartões impressos, por *kanbans* eletrônicos (ou *e-kanban*) e controles digitais, somando 5 publicações (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015; SANDERS et al., 2016; MRUGALSKA; WYRWICKA, 2017; WAGNER et al., 2017; ROMERO et al., 2018).

A análise também destaca estudos que abordam o Mapeamento do Fluxo de Valor (*ValueStream Mapping – VSM*), com 4 trabalhos analisados (TAMÁS et al., 2016; LUGERT et al., 2018; ANTE et al., 2018; MAYR et al., 2018), assim como o uso de realidade aumentada nas tarefas operacionais e atividades de manutenção, também com 4 publicações envolvendo esse tipo de interação (SCHMITT et al., 2013; KOLBERG; ZÜHLKE, 2015; PFEIFFER et al., 2016; SANDERS et al., 2017).

A tecnologia de manufatura aditiva ou impressão 3D aparece apenas uma vez na amostra. Contudo, a relevância desse tipo de tecnologia para excelência operacional é notória. Chen e Lin (2017) relatam os benefícios da interação entre impressão 3D e *Lean Manufacturing* em cinco categorias: (i) impressão sob demanda, que está diretamente associada aos conceitos de estoques reduzidos, pequenos lotes e produção puxada; (ii) automação, relacionada ao princípio da separação homem-máquina; (iii) facilidade de manutenção e otimização da técnica *5S housekeeping*; (iv) linhas dedicadas, assumindo que as instalações com impressoras 3D poderiam ser isoladas de outras instalações, permitindo, assim, reduzir o tamanho de uma fábrica e torná-la mais enxuta; e (v) facilidade de implementação, que por sua vez está relacionada aos conceitos de *downsizing*, logística eficiente, prazos curtos e produção JIT.

Quanto a aplicação das tecnologias I4.0 nos trabalhos analisados, destaca-se a frequência dos termos CPS, IIoT e *Big Data Analytics*. Por outro lado, embora as tecnologias de computação

em nuvem e ciber-segurança não estejam destacadas na tabela 1, a implementação de um CPS pressupõe que essas tecnologias habilitadoras sejam condição *sinequa non* para a digitalização dos processos de manufatura. Após a identificação dos 11 pontos de convergência entre práticas LM e tecnologias I4.0, os exemplos de interações foram agrupados por um critério de afinidade, de acordo com o modelo da casa da Toyota.

Tabela1: Pontos de convergência entre as práticas LM e tecnologias I4.0

Pontos de convergência	Práticas LM	Tecnologias I4.0	Autores (Ano)
CP.01 VSM em tempo real auxiliado por Simulação e <i>Big Data Analytics</i> a partir da integração entre sistemas ERP/MES e RFID.	VSM	CPS e <i>Big Data Analytics</i>	Tamás <i>et al.</i> , (2016); Lugert <i>et al.</i> , (2018); Ante <i>et al.</i> , (2018); Mayr <i>et al.</i> , (2018).
CP.02 Indicadores de desempenho gerados automaticamente por meio de IIoT, CLP e M2M para a priorização de melhorias.	Medição de Desempenho / OEE	IIoT e RFID	Ante <i>et al.</i> , (2018)
CP.03 Dados provenientes dos CPS podem ser armazenados na nuvem e usados para prevenir falhas	TPM / <i>Jidoka</i>	CPS, IIoT e computação em nuvem	Sanders <i>et al.</i> , (2016); Mrugalska; Wyrwicka (2017);
CP.04 No âmbito dos CPS, sensores, autômatos e RFID podem ser usados como <i>e-kanbans</i> para controlar os níveis de estoque em tempo real e promover a produção puxada.	<i>Pull System</i>	CPS e RFID	Kolberg; Zühlke (2015); Sanders <i>et al.</i> , (2016); Mrugalska; Wyrwicka (2017); Wagner <i>et al.</i> , (2017); Romero <i>et al.</i> , (2018)
CP.05 Operadores equipados com smartwatches receberão mensagens sobre falhas em tempo real e um CPS responderá automaticamente com ações corretivas.	<i>Jidoka</i>	<i>Smartwatchese</i> CPS	Kolberg; Zühlke (2015)
CP.06 Robôs industriais serão utilizados para controlar a produção e prevenir erros no processo de fabricação.	<i>Jidoka</i>	Robótica colaborativa	Hedelind; Jackson (2011); Ma <i>et al.</i> , (2017)
CP.07 Redução do tempo de setup time por meio de soluções “plug-and-play”, RFID e <i>machine learning</i> .	SMED	CPS	Sanders <i>et al.</i> , (2016)
CP.08 Manufatura Aditiva permite a impressão de peças sob demanda, separação homem-máquina, e eliminação de desperdícios.	<i>7 Wastes e Pull System</i>	Manufatura Aditiva	Chen; Lin (2017)
CP.09 As tecnologias RFID, IIoT e <i>Big Data Analytics</i> podem ser aplicadas para otimizar as atividades de manutenção preventiva e preditiva dando origem ao conceito “ <i>e-maintenance</i> ”	TPM	CPS e <i>Big Data Analytics</i>	Li <i>et al.</i> , (2015)
CP.10 Realidade aumentada pode auxiliar	Padronização	Realidade Aumentada	Schmitt <i>et al.</i> , (2013); Kolberg; Zühlke,

operadores na realização das tarefas operacionais e atividades de manutenção, assim como na identificação de problemas em tempo real.			(2015); Pfeiffer et al., (2016) Sanders <i>et al.</i> , (2017)
CP.11 Por meio da integração entre AGVs, Sistemas de Informação, RFID e Simulação é possível otimizar os sistemas de transporte para movimentar materiais com eficiência e autonomia	Fluxo Contínuo	CPS, AGV e Simulação	Neradilova; Fedorko (2017); Powell et al (2018)

Fonte: Elaborado pelos autores

3.2 Estabilidade operacional

A fundação da casa da Toyota representa a sustentação do STP e requer a implementação de práticas voltadas para a estabilidade operacional nos 4Ms (homem, material, método e máquina). Em relação à estabilidade da mão de obra, a análise dos pontos de convergência aponta para a interação homem-máquina através da robótica colaborativa. De acordo com Bahrin et al., (2016), robôs industriais autônomos estão sendo desenvolvidos para aumentar a segurança, flexibilidade, versatilidade e colaboração no chão de fábrica sem a necessidade de isolar uma área de trabalho. Em um estudo de caso múltiplo envolvendo empresas suecas e japonesas, Hedelind e Jackson (2011) mostraram que a robótica industrial pode ser usada de forma mais efetiva no âmbito do LM adicionando um "toque humano" através do envolvimento de operadores na implementação de estações automatizadas.

Quanto a estabilidade dos materiais, Powel et al., (2018) ressaltam que a IIoT fornece uma infraestrutura adequada para o rastreamento do fluxo dos materiais no interior da fábrica. Além disso, os veículos guiados automaticamente (AGV) fornecem funcionalidade para o transporte automático de unidades de trabalho, sem a necessidade de construir linhas de transporte físicas. Neste contexto, Neradilova e Fedorko (2017) esclarecem que através da integração de AGVs, sistemas de informação, RFID e simulação será possível otimizar os sistemas de transporte para movimentar materiais com eficiência, autonomia e precisão.

De acordo com os princípios LM, a estabilidade das máquinas pode ser otimizada por meio da Manutenção Produtiva Total (TPM) com o objetivo de reduzir quedas, aumentar a disponibilidade e reduzir custos com manutenção corretiva. Li et al. (2015) acreditam que as tecnologias I4.0 mudarão a natureza das atividades tradicionais de manutenção, dando origem ao conceito “*e-maintenance*”, onde as tecnologias RFID, *Big Data* e IIoT poderão monitorar

componentes ao longo de todo o ciclo de vida das máquinas. Neste sentido, Mayr et al., (2018) apresentam um caso de integração entre TPM e I4.0 a partir da implementação de *Condition Monitoring Systeme* computação em nuvem para monitorar os parâmetros operacionais de uma prensa de estampagem e reduzir a probabilidade de falhas das máquinas.

Em um estudo apresentado por Sanders et al. (2016), os autores mostram que os padrões de falhas de máquinas e equipamentos podem ser reconhecidos por algoritmos inteligentes que indicam quando um componente estará sujeito a falhas, permitindo que outros recursos possam ser comunicados via M2M para a execução das correções necessárias.

3.3 Just in Time

A conversão de um sistema empurrado para o sistema puxado representa uma estratégia de redução de estoques e constitui um pilar do STP. Em muitos casos, uma interrupção no fluxo de produção surge devido a erros no dimensionamento dos estoques e análise da capacidade produtiva. Assim, o sistema puxado, geralmente implementado por meio de *kanbans*, são usados na abordagem JIT para controlar os níveis de estoque e o ritmo de produção. No entanto, os *kanbans* tradicionais apresentam como limitações a necessidade de lidar com cartões físicos, apresentando riscos de perda ou esquecimento por parte dos operadores (THOBEN et al., 2014).

Contudo, os tradicionais sistemas *kanban* podem ser automatizados por meio de máquinas inteligentes, sensores, atuadores e dispositivos RFID, capazes de detectar informações em tempo real e com alta confiabilidade (MRUGALSKA; WYRWICKA, 2017; WAGNER et al., 2017). Porém, a implementação desta solução pode requerer uma reengenharia do processo e interação entre os sistemas de manufatura (ERP e MES), bem como o controle das informações de saída do sistema, como por exemplo, painéis inteligentes e “*Smart Automation*”, incluindo o uso de AGV e drones (ROMERO et al., 2018).

O fluxo contínuo da produção pode ser projetado com o auxílio do VSM. Tradicionalmente, essa técnica reconhecida na Toyota como “Diagrama de Fluxo de Material e Informação” (LIKER, 2005) requer duas versões de mapas (estado atual e estado futuro), que são elaboradas manualmente. No entanto, Lugert et al., (2018) propõem uma estrutura conceitual onde a análise do VSM pode ser facilitada conectando dispositivos RFID aos sistemas de manufatura. O “VSM dinâmico” apresentado pelos autores é capaz de analisar dados

históricos do processo em tempo real e reconhecer automaticamente oportunidades de melhoria em relação às métricas de *lead time*, confiabilidade, níveis de estoque e OEE.

Tamás et al. (2016) argumentam que a simulação também pode otimizar o VSM por meio de algoritmos e gêmeos digitais, ampliando o conhecimento sobre os sistemas logísticos dinâmicos e permitindo a análise dos efeitos, a partir da modificação de determinados parâmetros, como por exemplo, tempos de ciclo, falhas de equipamentos etc. Em outro estudo realizado por Ante et al., (2018), a comunicação entre máquinas inteligentes conectadas por controladores lógico programável permitiu a medição do fluxo de valor através de indicadores automaticamente gerados no sistema de informação da fábrica e disponibilizados por meio de um quadro visual para a identificação e a priorização das ações de melhoria.

3.4 *Jidoka*

O segundo pilar do STP representa a ideia de controle de qualidade a partir soluções automatizadas e implementadas pelos operadores. O conceito de controle de qualidade difundido por Shigeo Shingo na Toyota previa o uso de dispositivos à prova de erros operacionais denominados “*poka-yoke*” (BREYFOGLE III, 2003). No contexto da quarta revolução industrial, os dados gerados nos CPS e armazenados em nuvem poderão ser usados por sistemas inteligentes para evitar defeitos e complementando os tradicionais dispositivos *poka-yoke* (MA et al., 2017; MRUGALSKA e WYRWICKA, 2017).

Andon é outra ferramenta do STP relacionada ao *Jidoka* e dedicada ao compartilhamento de informações visuais sobre o status do processo, dando aos operadores um senso de urgência para as correções necessárias. No âmbito dos CPS, sensores específicos serão capazes de reconhecer e corrigir automaticamente falhas e operadores equipados com *smartwatches* poderão ser notificados em tempo real sobre os erros identificados no processo (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015).

A padronização ou trabalho padronizado são técnicas eficazes para assegurar a qualidade no processo, uma vez que essa prática oferece previsibilidade e uniformidade às operações. Nesse sentido, o uso de *storyboards* (ilustrações sequenciais descrevendo como um usuário deve executar uma tarefa) juntamente com a tecnologia *Egocentric Attention-Interaction Documentation* (EAID) poderia oferecer melhor controle de processos

automatizados, instruindo e orientando os operadores na execução das atividades (PFEIFFER et al., 2016).

Neste contexto, a realidade aumentada é capaz de melhorar a visualização das informações operacionais e transferir conhecimento para os operadores (SCHMITT et al., 2013). Seguindo os princípios LM, a realidade aumentada pode ser utilizada para analisar movimentos e tempos de ciclo de uma operação (KOLBERG e ZÜHLKE, 2015). Sendo assim, tal tecnologia poderia ser empregada em estudos de balanceamento de linha e diagramas de espaguete. Por fim, os CPS também podem ser projetados empregando técnicas do *Jidokacapazes* de integrar sensores, atuadores, controladores e *software* com o objetivo de converter e analisar dados, detectar anormalidades e fornecer *feedback* à operação em tempo real (Ma et al., 2017).

4. Conclusões

A integração das práticas LM com as tecnologias I4.0, analisadas sob a ótica da excelência operacional cria possibilidades para a melhoria dos processos de manufatura em termos de qualidade, custo e entrega. Os exemplos apresentados neste artigo destacam a complementaridade entre as duas abordagens e sugerem novas ações na implementação dos princípios LM.

Os resultados da pesquisa evidenciaram 11 pontos de convergência entre as principais práticas LM e tecnologias I4.0. Essa interação cobre todos os elementos do STP ampliando as possibilidades de aplicação de técnicas como o VSM, fluxo contínuo, sistema puxado, controles automatizados de acordo com princípios Jidoka, análise de uma grande quantidade de dados provenientes dos CPS e iniciativas de melhoria usando SMED e TPM. A revisão sistemática da literatura revelou que as tecnologias com maior aplicação em iniciativas de excelência operacional incluem CPS, IIoT, RFID, e *Big Data Analytics*. Por outro lado, as tecnologias de manufatura aditiva e simulação apresentaram menor interação com as práticas LM nos trabalhos revisados.

Este trabalho não tem a ambição de esgotar as possibilidades de integração entre práticas LM e tecnologias I4.0, uma vez que a junção entre essas duas áreas de conhecimento ainda está em fase de desenvolvimento e requer um enfoque multidisciplinar. No entanto, as interações observadas aqui podem contribuir para futuras pesquisas sobre o assunto, bem como orientar o desenvolvimento de ações de melhoria que incluirão tecnologias I4.0 em seus escopos.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, N.; BREM, A. Strategic business transformation through technology convergence: Implications from General Electric's industrial internet initiative. **International Journal of Technology Management**, v.2, n. 67, p. 196-214, 2015.

ANTE, G.; FACCHINI, F.; MOSSA, G.; DIGIESI, S. Developing a key performance indicators tree for lean and smart production systems. **IFAC-PapersOnLine**, v.51, n. 11, p. 13-18, 2018.

BAHRIN, M. A. K.; OTHMAN, M. F.; AZLI, N. N.; TALIB, M. F. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **JurnalTeknologi**, v. 78, n. 6, p. 137-143, 2016.

BREYFOGLE III, F. W. **Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods**. John Wiley & Sons, 2003.

DENNIS, Pascal. **Lean Production simplified: A plain-language guide to the world's most powerful production system**. Productivity Press, 2007.

HEDELIND, M.; JACKSON, M. How to improve the use of industrial robots in lean manufacturing systems. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 22, n. 7, p. 891-905, 2011.

HIRANO H. **JIT implementation manual: the complete guide to just-in-time manufacturing: v. 2: waste and the 5S's**. Boca Raton: CRC Press, 2009.

HOEFT, Steve. **Stories from My Sensei: Two Decades of Lessons Learned Implementing Toyota-style Systems**. CRC Press, 2009.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0: Securing the future of German manufacturing industry. Final report of the Industrie 4.0 Working Group**. Forschungsunion, 2013.

KOLBERG, D., & ZÜHLKE, D. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. **IFAC-PapersOnLine**, 48(3), 1870-1875, 2015.

KOLBERG, D., KNOBLOCH, J.; ZÜHLKE, D. Towards a lean automation interface for workstations. **International Journal of Production Research**, v.55, n. 10, p. 2845-2856, 2017.

LI, J.; TAO, F.; CHENG, Y.; ZHAO, L. Big data in product lifecycle management. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 81, n. 1, p. 667-684, 2015.

LIKER, J.K. **The Toyota Way – 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer**, McGraw-Hill, New York, 2004.

LUGERT, A.; VÖLKER, K.; WINKLER, H. Dynamization of Value Stream Management by technical and managerial approach. **Procedia CIRP**, v. 72, n. 1, p. 701-706, 2018.

MA, J.; WANG, Q.; ZHAO, Z. SLAE–CPS: Smart Lean Automation Engine Enabled by Cyber-Physical Systems Technologies. **Sensors**, v.17, n. 7, p. 1500, 2017.

MRUGALSKA, B.; WYRWICKA, M. K. Towards lean production in industry 4.0. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 466-473, 2017.

OKOLI, C.; SCHABRAM, K. A guide to conducting a systematic literature review of information systems research. In: **Working Papers on Information Systems**, 10. 1-26, 2010.

OHNO, T. **Toyota production system: beyond large-scale production**. CRC Press, 1988.

PFEIFFER, T.; HELLMERS, J.; SCHÖN, E.; THOMASCHEWSKI, J. Empowering User Interfaces for Industrie 4.0. **Proceedings of the IEEE**. v. 5, n. 104, p. 986-996, 2016.

POWELL, D.; ROMERO, D.; GAIARDELLI, P.; CIMINI, C.; CAVALIERI, S. **Towards Digital Lean Cyber-Physical Production Systems: Industry 4.0 Technologies as Enablers of Leaner Production**. Advances in Production Management Systems. IFIP WG 5.7 International Conference, Seoul, Korea, August 26-30, 2018.

ROMERO, D.; GAIARDELLI, P.; POWELL, D.; WUEST, T.; THÜRER, M. **Digital Lean Cyber-Physical Production Systems: The Emergence of Digital Lean Manufacturing and the Significance of Digital Waste**. In IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (pp. 11-20). Springer, Cham, 2018.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries**. Boston Consulting Group, 9, 2015.

SANDERS, A.; 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.3, n. 9, 811-833, 2016.

SANDERS, A., SUBRAMANIAN, K. R., REDLICH, T.; WULFSBERG, J. P. **Industry 4.0 and Lean Management–Synergy or Contradiction?** In IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. p. 341-349. Springer, Cham, 2017.

SCHMITT, M., MEIXNER, G., GORECKY, D., SEISSLER, M.; LOSKYLL, M. Mobile interaction technologies in the factory of the future. **IFAC Proceedings Volumes**. v. 46, n.15, p. 536-542, 2013.

TAMÁS, P.; ILLÉS, B.; DOBOS, P. Waste reduction possibilities for manufacturing systems in the industry 4.0. In IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering**, v. 161, n. 1, 2016.

THOBEN, K. D.; VEIGT, M.; LAPPE, D.; FRANKE, M.; KÜCK, M.; KOLBERG, D.; GUTH, P. **Towards networking logistics resources to enable a demand-driven material supply for lean production systems: basic concept and potential of a cyber-physical logistics system**. In Proceedings of 7th International Scientific Symposium on Logistics, June, p. 4-5, 2014.

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

WOMACK, J.P.; JONES, D. T. (1996). **Lean Thinking**. New York: Simon & Schuster.