

## A contribuição da indústria 4.0 para o Lean Manufacturing

### The contribution of industry 4.0 to Lean Manufacturing

---

Carlos Alberto Oian\* - carlos\_oian@yahoo.com.br

\*IFSP - Instituto Federal de São Paulo, SP, Brasil

---

#### Article History:

Submitted: 2023 - 08 - 26

Revised: 2023 - 09 - 16

Accepted: 2023 - 09 - 16

---

**Resumo:** O termo Indústria 4.0 (I.4.0) tem sido citado frequentemente e está diretamente ligado ao futuro das atividades de manufatura, e dentro deste contexto, ocorrem interfaces com outros conceitos como a Manufatura Enxuta, e esta pode usufruir dos benefícios gerados pela aplicação dos princípios, ferramentas e técnicas da I.4.0. O presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise em relação à influência da I.4.0 na Manufatura Enxuta. A metodologia empregada consiste em um estudo bibliográfico qualitativo exploratório através da análise e avaliação de artigos, livros e periódicos em meio virtual, nas principais bases de dados (web of science, scopus, google scholar e emerald insight) e os resultados apresentados através da qualificação da importância e aplicabilidade dos conceitos da I.4.0 na Manufatura Enxuta.

**Palavras chaves:** Indústria 4.0; I.4.0; Lean Manufacturing.

**Abstract:** The term Industry 4.0 (I.4.0) has often been cited and is directly linked to the future of manufacturing activities, and within this context, interfaces with other concepts such as Lean Manufacturing occur, and the latter can benefit from the benefits generated by applying the principles, tools and techniques of I.4.0. The present work has the purpose of analyzing the influence of I.4.0 on Lean Manufacturing. The methodology used consists of a qualitative exploratory bibliographic study through the analysis and evaluation of papers, books and periodicals in a virtual environment, in the main databases (web of science, scopus, google scholar and emerald insight) and the results presented through the qualification the importance and applicability of the concepts of I.4.0 in Lean Manufacturing.

**Keywords:** Industry 4.0; I.4.0; Lean Manufacturing.

## 1. Introdução

Desde a primeira revolução industrial em 1750, saltos tecnológicos têm levado a mudanças de paradigmas nos processos industriais, os quais foram denominados de “Revoluções Industriais”.

O termo Indústria 4.0 foi cunhado na feira de Hannover em 2011, e discutido no Fórum Econômico Mundial (2015), exibindo um alinhamento com os recentes estudos realizados na Alemanha. Esta nova realidade trata de uma economia com forte presença digital e conectividade entre as pessoas (p2p), entre máquinas (m2m) e entre máquinas e pessoas (m2p), cujo foco principal é a troca de informação (comunicação de dados). (Schwab, 2016)

A 4ª Revolução Industrial (I.4.0) está alterando a forma de como trabalhamos e nos relacionamos com o mundo em que vivemos. Atualmente, vivemos a era da digitalização e da hiperconectividade, a qual nos desafia, diariamente, a experimentar coisas que nunca experimentamos antes. (Schwab, 2016)

Dentro das organizações vivemos mudanças em grande escala, alcance e complexidade, graças às novas tecnologias incorporadas às atividades humanas. Os desafios desta nova revolução servirão de base para o desenvolvimento de soluções que envolvem diferentes stakeholders, sejam eles públicos ou privados, acadêmicos ou pertencentes à sociedade em geral (Schwab, 2016).

Se considerarmos, em termos gerais, as diferentes fases da revolução industrial, temos que no início do século passado, Ford introduziu, em 1910, o conceito de produção em massa utilizando uma linha de montagem seriada (Braga, 2003). Algumas décadas mais tarde, já na década de 1950, teve origem o Sistema Toyota de Produção (STP), estruturado por Ohno, e com ele o conceito de Lean Manufacturing, aonde as linhas de montagem exibem fluxo contínuo ou celular (Ohno, 2005), e nos últimos anos, estamos vivendo a Indústria 4.0, aonde a conectividade entre homens, máquinas e processos dá o tom, porém, quando se discute a necessidade de reduzir custos operacionais, o Lean Manufacturing é, ainda, hoje, a solução mais empregada.

---

## 2. Referências Bibliográficas.

O termo Lean foi desenvolvido, primeiramente, por Womack et al. (1992) em seu livro “A máquina que mudou o mundo”, e baseia-se no Sistema Toyota de Produção implementado por Taiichi Ohno na Toyota.

Conforme Schulz (2015), o Sistema Toyota de Produção foi criado como resposta à necessidade da indústria automobilística japonesa produzir veículos com o mínimo de desperdício, ou seja, operando com baixos níveis de estoque, em layouts compactos e atendendo às necessidades do mercado consumidor, sejam estes representados pelo Japão, EUA ou Europa.

O Lean Manufacturing consiste em uma filosofia de gestão que expandiu-se globalmente junto o STP, modelo organizacional criado para atender a premissa de reduzir ou minimizar o tempo total de processamento de um pedido, desde a sua recepção até a sua entrega ao cliente final, conforme detalhado pelo Lean Institute (2016). Ainda de acordo com Liker (2005), o Sistema Toyota de Produção identificou 7 grandes desperdícios que devem ser suprimidos na busca pela melhoria da produtividade e eficiência operacional, e são eles: superprodução, tempo de espera, transporte ou movimentação desnecessária, processamento incorreto, excesso de estoque, movimentos desnecessários e os defeitos (não-conformidades).

De acordo com o Lean Institute (2016), muitas organizações estão introduzindo o conceito de Lean com o objetivo de transformar realidades gerenciais, potencializar resultados e melhorar o aproveitamento do potencial humano de seus empregados.

A 4<sup>o</sup> Revolução Industrial, ou simplesmente, I.4.0, caracteriza-se pela hiperconectividade em tempo real, graças à internet, porém, alia-se às mudanças no sistema de produção e consumo decorrentes da introdução dos sistemas ciberfísicos (*Cyber-physical systems - CPS*), internet das coisas (*Internet of things - IoT*), internet dos serviços (*Internet of services - IoS*), internet de dados (*Internet of data - IoD*), Big Data, inteligência artificial e outros sistemas físicos, tais como robótica, manufatura aditiva (impressão 3D), nanotecnologia e biotecnologia, realidade aumentada (*Augmented Reality*) e manufaturada em nuvem (*Cloud Manufacturing*). (Schuh et al 2017; Pereira et al., 2017; Schwab, 2016)

Logo, pode-se dizer que a Indústria 4.0 apoia-se em dois pilares principais, a automatização nos negócios, nas indústrias e na vida privada, e na conectividade que elimina

distâncias, reduz o tempo e consolida uma comunicação cada vez mais ampla e rápida. (Schwab, 2016).

### **3. Metodologia.**

Neste trabalho, foi conduzida uma pesquisa bibliográfica qualitativa exploratória referente à influência da Indústria 4.0 no Lean Manufacturing, visando identificar seus benefícios e interfaces.

Como mencionado, trata-se de uma pesquisa bibliográfica exploratória: exploratória, porque avança sobre um terreno pouco conhecido, procurando mapeá-lo; bibliográfica, porque a busca se dará em artigos disponíveis nas bases de dados. A pesquisa compreendeu o levantamento de referências sobre o referido tópico junto às bases de dados, nas quais foram pesquisados periódicos nacionais e estrangeiros e em face à novidade do tema, restringiu-se aos últimos 5 anos. (Cesar et al., 2017)

### **4. Resultados.**

De acordo com Shah e Ward (2003), existem inúmeras práticas associadas ao Lean, e cada organização que o implementa não necessita, necessariamente, emprega-las em sua totalidade, mas sim aquelas que geram impacto significativo em seus resultados, ou seja, na identificação e eliminação de desperdícios e no incremento do valor agregado. A Tabela 1 exibe um sumário destas práticas que serão, eventualmente, abordadas nos artigos em análise.

Tabela 1 – Práticas Lean

Principais Práticas Lean	
Eliminação de gargalos (suavização da produção)	Planejamento e agendamento de estratégias
Manufatura em célula	Manutenção preventiva
Benchmarking	Medição da capacidade do processo
Programas de melhoria contínua	Sistema puxado / Kanban
Força de trabalho multi-funcional	Programas de Gestão de Qualidade
Redução no tempo de ciclo	Troca rápida de ferramentas
Produção focada	Reengenharia do processo de produção
JIT / Fluxo de produção contínua	Programas de melhoria de segurança
Redução do tamanho do lote	Equipes de trabalho autônomas
Manutenção otimizada	Gestão da Qualidade Total
Novos equipamentos / tecnologias de processo	

Fonte: Adaptado de Shah e Ward (2003)

Como o conceito de Indústria 4.0 ainda é recente, a correlação entre o mesmo e o Lean, durante a pesquisa bibliográfica, limitou-se a 27 artigos, porém, 6 foram excluídos por não se inserirem totalmente na temática ou pela duplicidade, assim foram analisados 21 artigos no total. Após a análise foi possível identificar em maior ou menor grau alguns pontos aonde algumas Ferramentas, Princípios ou Técnicas da Indústria 4.0 estão sendo aplicadas e gerando ganhos.

A maioria dos artigos analisados considera que a medida que a customização em massa avança, combinada com ciclos de vida cada vez menores dos produtos e aliada a maior complexidade dos mesmos, cresce a importância e a necessidade da redução dos desperdícios. (Brettel (2014); Kolberg, Zühlke (2015); Sanders et al. (2016); Ruttimann, Stöckli (2016); Tamas (2016); Hofmann, Rüscher (2017); Karre et al. (2017); Rauch et al. (2017); Tortorella, Fettermann (2017); Yin et al.(2017))

Com o objetivo de uniformizar a terminologia, a Tabela 2 exhibe de maneira resumida os Princípios, Ferramentas e Técnicas da Indústria 4.0, os quais são referenciados nos diversos artigos avaliados neste trabalho.

Tabela 2 – Princípios, Ferramentas e Técnicas da Indústria 4.0.

Princípios	Ferramentas	Técnicas
Interoperacionalidade	RFID (Radio frequency identification)	CPS (Cyber physical systems)
Virtualização		Integração Horizontal
Descentralização	Augmented reality (Realidade aumentada)	Integração Vertical
Adaptação da produção em tempo real		Manutenção preditiva
		Manufatura aditiva
Orientação aos serviços	Big Data	Smart Product
Modularidade	Virtual reality (Realidade virtual)	IoT (Internet of Things)
		IoS (Internet of Services)
		IoD (Internet of Data)

Fonte: Adaptado de César (2003)

Os resultados das análises realizadas são exibidos na Tabela III, aonde associa-se o autor (ano) do artigo, os Princípios, Ferramentas ou Técnicas da Indústria 4.0 citados e um breve comentário do(s) autor(es).

Tabela 3 – Correlação Artigos x Princípios, Ferramentas ou Técnicas da Indústria 4.0

Autor(es) (ano)	Princípios, Ferramentas ou Técnicas da Indústria 4.0	Comentários
Lee, Bagheri e Kao (2014)	CPS, Smart Factory e Smart Product	Aumento de produtividade e eficiência, graças a otimização das atividades e redução de desperdícios.
Brettel (2014)	CPS, Smart Factory, Smart Product, RFID, Integração Vertical e Horizontal	Aumento de produtividade e eficiência.
Baur e Wee (2015)	CPS, Big Data e Manufatura aditiva	Otimização da cadeia de suprimentos alterando o tamanho dos lotes, monitorando e controlando processos remotamente e on-line.
Kolberg e Zühlke (2015)	CPS, Smart Factory e Smart Product	Integração e aumento de produtividade e eficiência.
Netland (2015)	Adaptação da produção em tempo real	Otimização da produção e eliminação dos cartões kanban através da digitalização.
Jayaram (2016)	IoT, Smart Factory, Smart Product e RFID	Maior conectividade, visualização, otimização e autonomia.
Ruttimann e Stöckli (2016)	CPS e IoT	Aumento de produtividade, eficiência e redução de desperdícios.
Támas (2016)	CPS, IoT, BigData, Smart Factory, Smart Product e RFID	Análise de dados em grande escala e integração.
Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016)	IoT, IoS e IoD	Digitalização e integração.
Rauch, Dallasega e Matt (2017)	CPS, Smart Factory e Smart Product	Desenvolvimento de produtos em tempo reduzido, atendendo as necessidades do consumidor e otimizando os processos produtivos.
Hofmann e Rüschi (2017)	CPS, Manufatura aditiva, IoT, IoS, IoD e Smart Factory	Otimização do JIT, redução de custos, flexibilidade, adaptabilidade e sustentabilidade.
Karre et al. (2017)	CPS e RFID	Otimização dos equipamentos e processos.
Leyh (2017)	CPS, IoT, IoS e IoD	Otimização do kanban e eventos Kaizen.
Yin, Stecke e Li (2017)	CPS, IoT, BigData, Smart Factory, Smart Product e manufatura aditiva	Otimização do fluxo de produção, manufatura em célula e novas tecnologias de produção e processos.
Mrugalska e Wyrwicka (2017)	CPS, IoT, IoS, IoD, Smart Factory e Smart Product.	Foco em atividades de maior valor agregado, planos de melhoria contínua e redução de desperdícios.
Singh (2017)	BigData, Integração Vertical e Horizontal, Realidade aumentada e virtual	Otimização do fluxo de produção, implementação de programas de melhoria contínua, gestão da qualidade e redução no tempo de ciclo.
Wagner, Herrmann e Thiede (2017)	BigData, Integração Vertical e Horizontal, Realidade aumentada e virtual	Otimização do fluxo de produção, redução no tempo de ciclo, otimização dos eventos Kaizen, força de trabalho autônomas e multi-funcionais.
Dombrowski, Richter e Krenkel (2017)	CPS, RFID	Implementação de programas de melhoria contínua, otimização do fluxo de produção, sistema puxado (Kanban) e redução de desperdícios.
Tortorella e Fettermann (2017)	CPS, IoT, IoS, IoD, Manufatura aditiva, BigData, RFID e Realidade virtual	Benefícios ao JIT (fluxo contínuo de produção), sistema puxado, troca de ferramentas, manutenção e na constituição de força de trabalho autônomas e multi-funcionais.
Abreu (2018)	CPS, IoT, IoS, IoD, Smart Factory e Smart Product.	Foco em atividades de maior valor agregado, planos de melhoria contínua e redução de desperdícios.
Lugert e Winkler (2018)	CPS, RFID	Eliminação de aspectos estáticos do VSM e maior integração da produção. (otimização do fluxo de produção/JIT)

Fonte: Elaboração própria.

---

## 5. Análise dos Resultados.

Conforme pode ser observado na Tabela 3, e detalhado na Figura I, os itens que exibem maior contribuição ao Lean são os CPS (*Cyber-Physical Systems*), os quais estão diretamente associados ao processo de manufatura e podem trazer ganhos do ponto de vista da melhoria do fluxo de produção, redução no tempo de ciclo e na eliminação de gargalos dentre outros.

Já as *Smart Factories* e os *Smart Products* geram, além dos benefícios já detalhados anteriormente, a possibilidade de redução do tamanho do lote, a introdução de novos equipamentos e tecnologias e o atendimento às necessidades dos clientes.

A IoT e o RFID facilitam a produção e a entrega de pequenos lotes, e o IoD e o *BigData* permitem o tratamento de grandes volumes de dados e informações, assim é possível se avaliar tendências do mercado, preferências do consumidor, reclamações de clientes e transformá-las em soluções visando a satisfação destes.

A Integração Horizontal, onde se tem informações do chão de fábrica em tempo real, facilita a eliminação de gargalos, o fluxo contínuo da produção, o sistema puxado e a reengenharia de processos. Além disso, a integração entre diferentes plantas integra planos de melhoria contínua e a gestão da qualidade.

A Integração Vertical, onde se tem informações fluindo da base para o topo da empresa que auxiliarão na tomada de decisões assim como na comunicação com os clientes e fornecedores, auxilia na manufatura em células, no fluxo contínuo de produção e no sistema puxado, além de reduzir o ciclo e os tamanhos dos lotes, otimizando os processos de manutenção.

As realidades aumentada e virtual mostram-se aplicáveis ao discutir o *Lean Development Product*, que busca o desenvolvimento de novos produtos focando no tempo reduzido, no atendimento aos requisitos do cliente, satisfazendo suas necessidades e otimizando o processo de produção, tudo de maneira integrada.

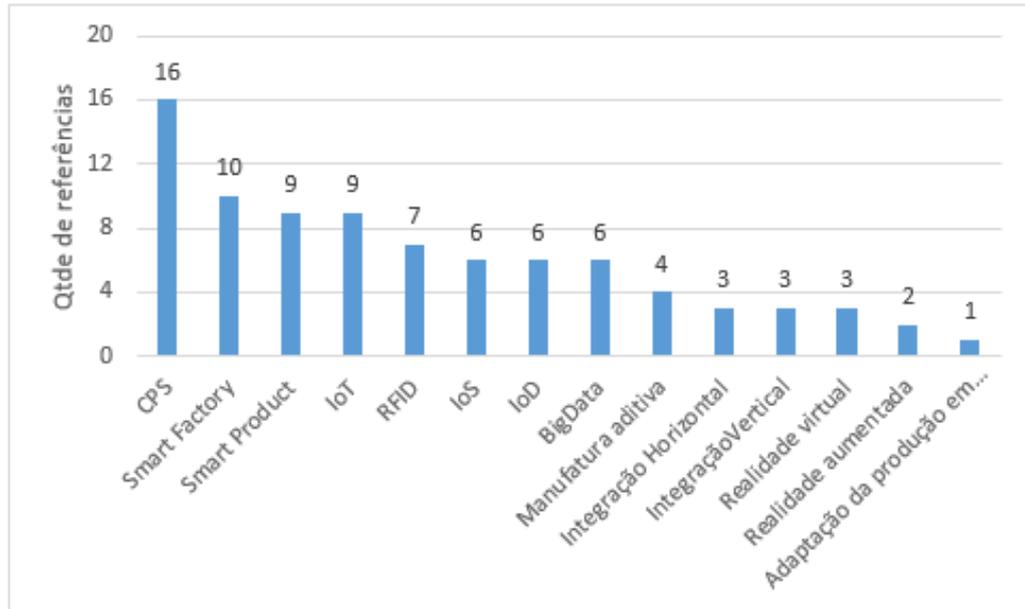


Figura 1 – Quantidade de citações aos princípios, Ferramentas ou Técnicas da I.4.0.  
Fonte: elaboração própria.

## 6. Considerações Finais.

Com base nos resultados da pesquisa, ainda que limitada em função da quantidade de artigos que discorrem sobre o assunto, é possível identificar uma interface entre os conceitos e benefícios que a tecnologia associada a Indústria 4.0 trouxeram ao Lean Manufacturing, o que com o decorrer do tempo deve se aprofundar e aprimorar, trazendo resultados mais efetivos no sentido de suportar a customização em massa requerida pela sociedade, através de produtos cada vez mais complexos e com ciclo de vida reduzidos, tudo sem se esquecer de fornecer valor ao cliente. O que o presente trabalho demonstrou, efetivamente, foi uma influência mais perceptível junto ao Lean dos sistemas ciber-físicos (*Cyber physical systems*), das *Smart factory* e *Smart product*, além dos meios de comunicação entre máquinas, pessoas e máquinas e pessoas, os quais se fazem representar pela IoT, IoS, IoD, RFID e o *BigData*, das integrações horizontal e vertical, que otimizam o fluxo de informações dentro da fábrica e entre clientes e fornecedores, e por fim as realidades aumentada e virtual, que diretamente agilizam o desenvolvimento e a introdução no mercado de novos produtos.

---

## Referências

- Abreu, P. (2018) Perspectivas para a gestão do conhecimento no contexto da Indústria 4.0. *South American Development Society Journal*. v. 4, n. 10, p. 126-145.
- Schuh, G. et al. (2017) Industrie 4.0 – Maturity Index. Managing the digital transformation of companies. Acatech Study. 10-51.
- Baur, C; Wee, D. (2015) Manufacturing's next act. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>.
- Braga, R. (2003) *A nostalgia do Fordismo: Modernização e crise na teoria da sociedade salarial*. São Paulo. Ed. Xamã.
- Brettel, M. (2014) How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Information and Communication Engineering*, v. 8, n. 1, p. 37-44.
- Cesar, F. et al. (2017) Contribuição da Indústria 4.0 (4º Revolução Industrial) para a indústria de jogos digitais. *V Encontro de Engenharia no Entretenimento*, 2017, CEFET/RJ, 74-95.
- Dombrowski, U.; Richter, T.; Krenkel, P. (2017) Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems - a use cases analysis. *Procedia Manufacturing*. v. 11, p. 1061-1068.
- Jayaram, A. (2016) Lean Six sigma approach for global supply chain management using Industry 4.0 and IIoT. *2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*. Noida/India.
- Karre, H. et al. (2017) Transition towards an Industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology. *7th Conference on Learning Factories, CLF 2017*. *Procedia Manufacturing* 9 (2017) 206 – 213.
- Kolberg, D.; Zühlke, D. (2015) Lean automation enabled by Industry 4.0 technologies. *IFAC (International Federation of Automatic Control) - PapersOnLine* 48-3, p. 1870–1875.
- Hofmann, E.; Rüscher, M. (2017) Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry* 89, p. 23-34.
- LEAN INSTITUTE. O que é Lean. <http://www.lean.org.br/o-que-e-lean.aspx>, Nov. 2016.
- Lee, J.; Bagheri, B.; Kao, H. (2014) A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters* 3, p. 18-23.
- Leyh, C. (2017) Industry 4.0 and lean production – A matching relationship? Na analysis of selected Industry 4.0 models. *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems* pp. 989–993.
- Liker, J. (2005) *O Modelo Toyota*. Editora Bookman, Porto Alegre, 2005.
- Lugert, A.; Batz, A.; Winkler, H. (2018) Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Mrugalska, B.; Wyrwicka, M. (2017) Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering*. v. 182, p. 466-473.
- Netland, T. (2015) Industry 4.0: Where does it leave lean? *The Lean Management Journal*, p. 22-23.
- Ohno, T. (2005) *Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala*. Porto Alegre. Ed. Bookman.
- Pereira, A.C.; Romero, F. (2017) A concept of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, v. 13, p. 1206-1214.
- Rauch, E.; Dallasega, P.; Matt, M. (2017) Critical Factors for Introducing Lean Product Development to Small and Medium sized Enterprises in Italy. *Procedia CIRP*, v. 60, p. 362-367.
- Rüttimann, B.; Stöckli, M. (2016) Lean and Industry 4.0 - Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems. *Journal of Service Science and Management*. v. 9, p. 485-500.

- 
- Sanders, A.; Elangeswaran, C.; Wulfsberg, J. (2016) Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2016, v. 9, n. 3, p. 811-833.
- Shah, R.; Ward, P. (2003) Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 2003, v. 21, p. 129-149.
- Schuh, G. et al. (2014) Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the context of Industrie 4.0. *PROCEDIA CIRP*, v. 19, p. 51-56.
- Schulz, J. (2015) *Cultura Lean*. Ed. Bookman.
- Schwab, K. (2016) *A quarta revolução industrial*. 1º Edição. São Paulo: Edipro.
- Singh, K. (2017) Lean Production in the era of Industry 4.0. *Logistics Engineering and Technologies Group - Working Paper Series 2017-005*.
- Támas, P. (2016) Process improvement trends for manufacturing systems in industry 4.0. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 2014, v. 14, n. 4, p. 119-125.
- Tortorella, G.; Fettermann, D. (2017) *Implementation of Industry 4.0 and lean production in brazilian manufacturing companies*. *International Journal of Production Research*, 2018, v. 56, p. 2975-2987.
- Wagner, T.; Herrmann, C.; Thiede, S. (2017) Industry 4.0 impacts on lean production systems. *The 50<sup>th</sup> CIRP Conference on Manufacturing Systems*. *PROCEDIA CIRP*, v. 63, p. 125-131.
- Womack, J.; Jones, D.; Ross, D. (2004) *A máquina que mudou o mundo*. 11º Edição. Ed. Campus.
- Yin, Y.; Steche, K.; Li, D. (2018) The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 2018, v. 56, n.1-2, p. 848-861.