

IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DE OPERAÇÕES

Danilo Ono Fukuda (USP)

daniloono21@gmail.com

Fernanda Barreto de Almeida Rocha Mariz (IFRN)

rocha_fernanda@outlook.com

Marco Aurelio de Mesquita (USP)

marco.mesquita@poli.usp.br



Em busca de flexibilidade e agilidade para atender a demanda por produtos e serviços mais elaborados e customizados, instaurou-se um movimento de inovação tecnológica na indústria conhecido como a 4ª Revolução Industrial ou Indústria 4.0. Tal mudança de paradigma implica em um novo modelo de negócio com impactos nas atividades de planejamento e controle da produção e da gestão da cadeia de suprimentos. Nesse contexto, o presente estudo faz uma revisão de artigos publicados em periódicos internacionais da área de gestão de operações entre 2000 e 2017, com o objetivo de mapear como o tema Indústria 4.0 vem sendo explorado pelos autores de gestão da produção. Como resultado, a revisão permitiu formar uma base de estudos exploratórios sobre o tema. Observou-se a predominância de estudos sobre o controle das operações, em especial, da aplicação de tecnologia de informação. Por outro lado, destaca-se uma carência de pesquisa sobre possíveis implicações nas estratégias e sistemas de planejamento da produção das empresas.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Internet of things, Smart factory, Advanced manufacturing, Gestão de Operações

1. Introdução

Diante do avanço tecnológico atual, há um aparecimento efervescente de ideias e soluções para tornar diversas atividades da sociedade mais eficientes (PEREIRA; SILVA, 2010). Nesse contexto uma das principais criações recentes foi a Internet das Coisas, ou *Internet of Things* (IoT), em inglês, que consiste em bilhões de “coisas” (produtos, equipamentos, dispositivos, veículos, etc.) inteligentes e interconectadas por meio de capacidades de sensoriamento, de acionamento e de processamento de dados (CNI, 2016; NG et al., 2015).

A indústria surgiu como um campo natural para a implantação dessas inovações tecnológicas. A Indústria 4.0, referente ao que seria a 4ª Revolução Industrial, se caracterizaria pela integração e controle da produção a partir de sensores e equipamentos conectados em rede e da fusão do mundo real com o virtual. Surgem, assim, os chamados sistemas ciberfísicos e viabilizados pelo emprego da inteligência artificial, promovendo uma vantagem competitiva considerável (CNI, 2016; NG et al., 2015).

A Indústria 4.0 representa um conjunto de avanços tecnológicos que proporcionam redes inteligentes, nas quais máquinas e produtos em processo interagem, sem a necessidade de intervenção humana. Tais redes permitem a troca de informações instantaneamente entre as unidades da empresa, o que pode otimizar decisões ao longo da cadeia de suprimentos, como também permitir a efetivação de uma combinação da produção em massa e customizada (CNI, 2016; IVANOV et al., 2016)).

Essa convergência entre a tecnologia digital e a produção industrial tem tanto potencial, que 50% das empresas alemãs planejam se envolver e 20% delas já estão envolvidas com a Indústria 4.0 (PWC, 2013 apud IVANOV et al., 2016)). Além disso, segundo a McKinsey (2015), os processos relacionados à Indústria 4.0 poderão reduzir os custos de manutenção de equipamentos de 10% a 40%, diminuir o consumo de energia de 10% a 20% e aumentar a eficiência do trabalho de 10% a 25% (CNI, 2016). No Brasil, algumas empresas também exploram as possibilidades da Indústria 4.0. Por exemplo, a Klabin, produtora de papel e de papelão, iniciou um projeto piloto para monitorar o fluxo de produção de folhas de papelão em uma de suas linhas de produção (PEDROSO; ZWICKER; DE SOUZA, 2009).

O novo modo de produção traz também a necessidade de desenvolver métodos de gerenciamento para que se possam utilizar os instrumentos da Indústria 4.0 do modo mais

efetivo. Nessa perspectiva, as tecnologias que compõem esse novo modo de produção impactam na gestão estratégica, tática e operacional dos negócios, envolvendo atividades que vão desde a concepção e o desenvolvimento de produtos e processos até a produção e distribuição dos produtos ao consumidor final (IVANOV et al., 2016; ZAWADZKI; ZYWICKI, 2016).

Dentre as competências geradas pela Indústria 4.0, uma das mais emergentes é customização em massa permitida pelo planejamento, organização e controle autônomo dos componentes da cadeia de suprimentos, pois suprir requerimentos individuais dos clientes está se tornando um fator cada vez mais importante para determinar a competitividade da empresa (ZAWADZKI; ZYWICKI, 2016). Além disso, as tecnologias com sistemas ciberfísicos estão também intrinsicamente associados à estratégia de produção de manufatura baseada na demanda, que requer a produção somente quando a demanda é confirmada, a fim de reduzir o excesso de produção (PAPAZOGLU; VAN DEN HEUVEL; MASCOLO, 2015).

Diante da importância e contemporaneidade do assunto, decidiu-se elaborar um estudo bibliográfico do tema, com uma ênfase na gerência de operação. Portanto, o objetivo deste trabalho é mapear as principais pesquisas no meio acadêmico sobre o impacto das tecnologias digitais da Indústria 4.0 na gestão de operações por meio de um levantamento bibliográfico e, assim, constituir uma base de referência sobre o assunto.

Na seção seguinte é apresentada a metodologia da pesquisa, destacando as palavras-chave selecionadas e as restrições de busca. Já a seção de resultados foi dividida entre as classes identificadas durante o projeto. Por fim, há uma discussão sobre os resultados e uma conclusão, em que se resume os principais pontos e perspectivas do futuro da produção de conhecimento no campo.

2. Metodologia

O presente estudo pode ser caracterizado como uma revisão da literatura que investiga o impacto Indústria 4.0 na gestão das operações. Inicialmente, elegeram-se alguns termos centrais relacionados à Indústria 4.0 para a busca na base de dados Scopus: “*Industry 4.0*”, “*Industrie 4.0*”, “*Advanced manufacturing*”, “*Internet of things*”, “*Big data*”, “*Traceability*” e

“*Smart*”. Pesquisou-se por artigos que apresentassem algum dos termos no título, no resumo ou nas palavras-chave.

O termo “*Industry 4.0*” não poderia ser excluído dessa lista, já que é a tradução para o inglês de Indústria 4.0 e o banco de dados bibliográfica utilizado apresenta, em sua maioria, artigos nessa língua. Apesar disso, também foi pesquisado por “*Industrie 4.0*”, referente à tradução alemã do tema estudado, pois o conceito surgiu na Alemanha, de um projeto governamental para promover a inovação da manufatura (ACATECH, 2013). A indústria 4.0 também tem sido referenciada como manufatura avançada, ou “*Advanced manufacturing*” em inglês.

O termo “*Smart*” foi pesquisado para englobar várias expressões, como manufatura inteligente (*smart manufacturing*), fábrica do futuro (*smart factory*), cadeia de suprimento inteligente (*smart supply chain*), etc.

Por fim, foram escolhidos os três principais instrumentos usados na Indústria 4.0: “*Internet of things*” (IoT), “*Big data*” e “*Traceability*”.

Para que a pesquisa mantivesse o foco na área da gestão de operações, além de resultar em artigos relevantes e “recentes”, limitaram-se os trabalhos acadêmicos do seguinte modo:

- Apenas artigos publicados em revistas selecionadas por se aterem ao tema proposto (*International Journal of Production Economics (IJPE)*, *International Journal of Production Research (IJPR)*, *Production Planning and Control (PPC)*, *Journal of Operations Management (JOM)*, *International Journal of Operations & Production Management (IJOPM)* e *European Journal of Operational Research (EJOR)*);
- Intervalo de publicação de 2000 até 2017.

Durante a pesquisa inicial, não foram encontrados resultados com o termo “*Industrie 4.0*”. Logo, esse termo não consta entre os dados primários indicados na Tabela 1. A busca também resultou em um número pequeno de artigos relacionados diretamente com o termo “*Industry 4.0*”, enquanto expressões mais genéricas como “*Smart*” apresentaram vários resultados.

Tabela 1- Quantidade de artigos e intervalo de publicação encontrados em cada busca.

Termo	Quantidade de artigos	Intervalo de publicação
“ <i>Industry 4.0</i> ”	2	2016-2017
“ <i>Advanced Manufacturing</i> ”	76	2000-2017
“ <i>Internet of Things</i> ”	17	2011-2017
“ <i>Big data</i> ”	31	2013-2017

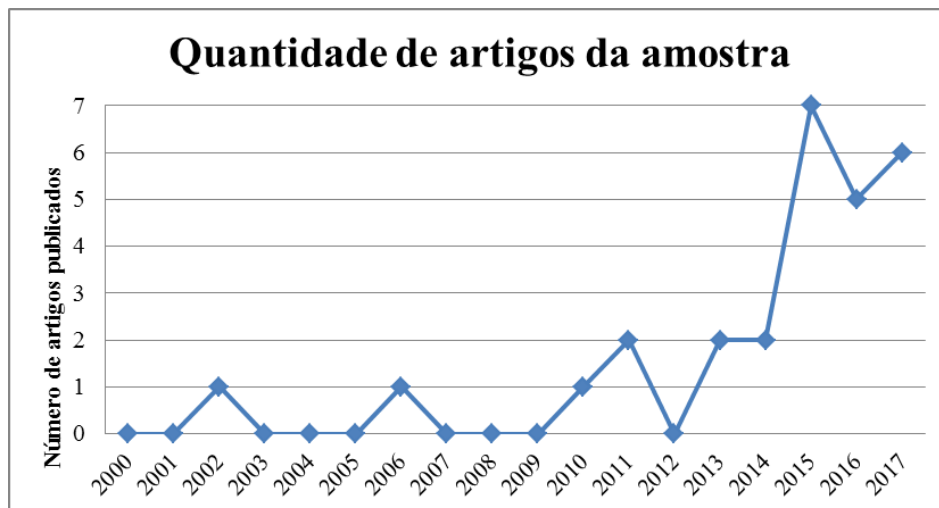
“Traceability”	29	2007-2017
“Smart”	48	2006-2017

Fonte: Elaboração própria

Após a exclusão dos artigos em duplicidade obtidos com as combinações de palavras-chaves, deu-se início a análise dos estudos encontrados por meio de uma leitura seletiva. Inicialmente, observou-se informações contidas no título e resumo e, em seguida, identificou-se os trabalhos que se enquadravam no escopo adotado na presente pesquisa: estudos teóricos ou aplicados sobre a gestão das operações no contexto da Indústria 4.0.

Com a adequação ao escopo, 27 artigos selecionados foram avaliados na íntegra publicados em um horizonte de tempo entre 2002 e 2017 (Figura 1). Observando as datas de publicação, mais da metade dos artigos da amostra foi publicada durante os últimos três anos.

Figura 1- Quantidade de publicações por ano



Fonte: Elaboração própria

3. Resultados

A amostra final de 27 artigos foi analisada nessa seção. Os artigos foram divididos em duas classes, de acordo com os enfoques: no planejamento e no controle operacional.

3.1. Planejamento

As novas tecnologias da era da Indústria 4.0 estão auxiliando a administração e o planejamento de produção das fábricas. Os dados armazenados e organizados em grande escala têm o potencial de incitar ideias e soluções para uma maior produtividade, como o

desenvolvimento de novas vantagens competitivas e direcionamentos para a tomada de decisão.

Com esse viés, foram analisados quatro artigos que tratavam mais especificamente do *big data*. Três desses *papers* apresentaram formas para criar competências que as destacassem em relação aos competidores. Em Tan et al. (2015), desenvolveu-se uma infraestrutura analítica baseada em técnicas de dedução gráfica para organizar dados, que foi testada por meio de um estudo de caso. Por outro lado, essa metodologia também rendeu resultados sobre o mercado, já que em Matthias et al. (2017), explorou-se como o *big data* pode criar vantagens competitivas nos negócios. Em Akter et al. (2016), propôs-se um modelo envolvendo a capacidade com o *big data*, para melhorar a performance da empresa. Destacando-se dos outros pela abordagem adotada, Kache; Seuring (2017) discutiram potenciais oportunidades do *big data* na gestão corporativa e da cadeia de suprimentos por meio da aplicação do método Delphi com especialistas na área. Dessa forma, os artigos sobre *big data* indicam a necessidade de gestão de Tecnologia de Informação para adotar as tecnologias da Indústria 4.0.

A tomada de decisão é importante para o planejamento e pode ser bem direcionada, quando se utilizam as tecnologias da Indústria 4.0. Em Ng et al. (2015) discorreu-se sobre as implicações de gestão de cadeia de suprimentos com o desenvolvimento da IoT, focando nas oportunidades e desafios decorrentes do consumo de dados e como isso pode ser mapeado para auxiliar nas escolhas de variabilidade de produtos. Já em Hwang et al. (2017), desenvolveu-se um modelo de performance com uso da IoT, coletando indicadores em tempo real, para que a empresa tenha habilidade de reagir a mudanças rapidamente. Em Xu (2011), por meio de uma revisão da literatura, analisou-se o estado da gerência de informação também para a cadeia de suprimentos, ressaltando tecnologias que têm o potencial para aumentar sua performance.

Outro subtema identificado na amostra foi a manufatura flexível. Zhang; Vonderembse; Cao (2006) pesquisaram sobre as competências de manufatura flexível e suas variáveis anteriores, investigando os impactos da tecnologia de manufatura avançada e suas práticas de operações eficientes por meio de um *survey*. Esse artigo indica a compatibilidade da flexibilidade na produção com as inovações provenientes da Indústria 4.0.

A manufatura *lean* também foi trabalhada em um artigo selecionado. Em Ghobakhloo; Hong (2014), analisou-se a relação entre a aplicação de atuais tecnologias de informação e diferentes princípios de manufatura *lean*, por meio de um *survey*. Dessa forma, a Indústria 4.0 criou novas possibilidades para a implementação da produção puxada.

3.2. Controle operacional

O segundo grupo de artigos delimita o enfoque para o controle operacional, ou seja, para o modo como ocorrerão as operações. Em um contexto de Indústria 4.0, isso é muito importante, uma vez que muitos processos são automatizados e os produtos movem-se na cadeia de suprimentos de modo inteligente, sendo necessária uma gestão operacional complexa.

Dois artigos cujo tema é o *big data* se encaixam nesse grupo. Em Kumar et al. (2016), por exemplo, apresenta-se uma plataforma para reconhecimento de padrões automáticos baseados em problemas de diagnóstico, resolvendo problemas de dados em uma fábrica com sistema de nuvem. Já em Wang; Zhang (2016), projetou-se uma simulação com *big data* para prever o tempo de ciclo de lotes na fabricação de semicondutores.

Elementos essenciais para a Indústria 4.0 são os ativos móveis, isto é, a rastreabilidade dos produtos ao longo da cadeia de suprimentos. As palavras-chave que promoveram a busca dos artigos sobre o assunto foram: “*internet of things*”, “*smart*” e “*traceability*”. Em Meyer; (Hans) Wortmann; Szirbik (2011), que utilizou uma simulação, demonstrou-se a possibilidade de usar produtos inteligentes (que estão cientes do seu contexto e podem negociar com os recursos locais da fábrica) para descentralizar o monitoramento e o controle. Dove; Cavalieri; Ierace (2017), que utilizou o mesmo método, pesquisou os efeitos econômicos das empresas relacionados à adoção de marcações RFID, principalmente na gerência de maquinário. Já Grüninger et al. (2010) simulou um modo para agregar às identificações *Radio-Frequency IDentification* (RFID) informações sobre o produto à medida que ele passa pelo processo produtivo, indicando o início das pesquisas que seriam importantes para a Indústria 4.0. Utilizando outro método de pesquisa, Pero; Rossi (2014) apresentou um estudo de caso de uma empresa com estratégia *engineer-to-order* para aplicar um sistema com RFID que proporciona aos outros atores da cadeia a rastreabilidade do processo do chão de fábrica. Essa tecnologia contribui, portanto, para a maior flexibilidade da produção.

A logística também foi identificada entre os temas abordados na amostragem. As palavras-chave que ativaram a busca desses *papers* foram 3: “*big data*”, “*internet of things*” e “*smart*”. O único artigo sobre logística presente na amostra que foi publicado na IJPR (BOCK; ISIK, 2015) propôs, por meio de uma simulação, uma nova abordagem para definir o tamanho de um pedido de entrega na cadeia de suprimentos, utilizando novas tecnologia. Já em Zhong et al. (2015), apresentou-se um estudo de caso com uma abordagem utilizando big data para acompanhar trajetórias frequentes em um chão de fábrica com um grande número de componentes identificados por RFID. Em Qiu et al. (2015), explicou-se, por meio de uma revisão de literatura, como a IoT pode promover uma interação em tempo real com membros da empresa e o rastreamento de ativos.

Outro tema presente nos artigos pesquisados é o *scheduling*. Todos os artigos selecionados que apresentam tal subtema foram publicados pela IJPR e têm caráter teórico, apresentando um modelo matemático para certo problema de programação industrial trazido pela Indústria 4.0. Ou seja, eles não diferem tanto entre si. Contudo, devido a um hiato entre dois grupos de artigos, é possível notar diferenças. Eles são Ivanov et al. (2016); Sinriech; Kotlarski (2002); Zhang et al. (2013). O artigo publicado em 2002 objetiva encontrar um algoritmo dinâmico que resolva um problema de sistema de *multiple-load multiple-carrier*. Nele, percebe-se a imaturidade do tema da indústria avançada. No entanto, apesar de que o sistema apresentado tenha como raiz uma certa simplicidade tecnológica se comparado com os atuais, observa-se um ponto central para a Indústria 4.0: a flexibilização da produção. Os diferentes produtos oriundos de diversos canais produtivos indicam a variabilidade, tão cara para a manufatura avançada. Já os outros problemas propostos envolvem um modo de produção mais sofisticado. Um deles envolve o uso de máquinas que trabalham seus produtos de modo autônomo e com tempos diferentes. O segundo está muito presente em tomadas de decisão com dados não determinísticos, como a disponibilidade de equipamento, tempo de processamento e custos. Desse modo, ambos os casos giram em torno da flexibilização.

Sobre os artigos que abordaram o subtema estoque, um ponto em comum percebido foi o tratamento de erros de registro, além de o método ser o mesmo em ambos os casos (simulação). Em Fang; Huang; Li (2013), estudaram-se os impactos da tecnologia RFID nas decisões em relação aos erros de inventário, enquanto em Fan et al. (2015), analisaram-se os

impactos da tecnologia RFID na cadeia de suprimentos que usam a IoT, principalmente para erros no registro do estoque.

4. Discussão dos resultados

A pesquisa realizada permitiu identificar os principais impactos da Indústria 4.0 na gestão de operações. Constatou-se que controle operacional foi particularmente afetado pelas novas tecnologias, e é este o tema explorado pelo maior número de artigos. O principal subtema, os ativos móveis e a rastreabilidade dos produtos ao longo da cadeia de suprimentos, rendeu pesquisas sobre a descentralização do monitoramento e controle e os impactos econômicos desse novo modelo de produção.

Tal temática é especialmente importante para a gestão de operações. Os sistemas produtivos estão continuamente sujeitos a diversas incertezas, sejam estas no âmbito da cadeia de suprimentos como variações na demanda e fornecimento, ou ainda, decorrentes das próprias operações como oscilações no *lead time*, falhas na produção, etc. (MULA et al., 2006). Assim, para melhor gerenciamento das divergências entre “planejado” e “realizado”, buscam-se mecanismos que permitam o monitoramento em tempo real do desempenho das atividades (GEORGIADIS; MICHALOUDIS, 2012; MEYER; (HANS) WORTMANN; SZIRBIK, 2011).

Na perspectiva de planejamento, o *big data* destacou-se. Essa tecnologia tem sido utilizada principalmente para reunir e organizar grandes volumes de informação para um melhor planejamento da gestão das fábricas. Diversos estudos discutiram arquiteturas para permitir a análise desses dados gerados pelos dispositivos e sistemas ciberfísicos. Observa-se que o foco majoritário destes trabalhos é a tecnologia da informação e a discussão de conceitos relacionados à automação industrial para promover a flexibilização e agilidade dos processos.

Com a revisão da literatura realizada, verifica-se ainda pouca sinergia com a gestão da manufatura, tendo em vista que problemáticas do planejamento e controle da produção ainda não são amplamente discutidas nas pesquisas publicadas. Deste modo, como o desenvolvimento das tecnologias é recente, há um grande campo a ser explorado e estabelecido até que seja efetuada a transferência de tecnologia pelas empresas.

No âmbito da amostra em estudo, não foram realizadas análises sobre o impacto da Indústria 4.0 nas estratégias de produção (*make-to-stock*, *assemble-to-order*, *make-to-order*, *engineer-to-order*). Apenas um estudo de caso foi conduzido por Pero; Rossi (2014) no ambiente *engineer-to-order* sobre a rastreabilidade na cadeia produtiva com RFID.

Acredita-se que, a utilização das tecnologias que englobam a quarta revolução industrial diminuirão as incertezas sobre a demanda ao permitir maior visibilidade da cadeia produtiva e, como mencionado anteriormente, aumentará o controle com a geração de dados em tempo real. Dessa forma, a agilidade dos processos favorecerá a adoção de estratégias contra pedido, ou ainda conduzirá as empresas para o modelo de customização em massa para responder aos diversos padrões de consumo com aos curtos ciclos de produção (ZAWADZKI; ZYWICKI, 2016).

As únicas revistas que apresentaram resultados compatíveis com o escopo da pesquisa foram a IJPR (15 artigos), IJPE (7 artigos), IJOPM (3 artigos) e PPC (2 artigos) em um quantitativo não muito expressivo. Isso corrobora a percepção de que ainda não há uma ampla discussão dos impactos da Indústria 4.0 no âmbito da gestão das operações, ou mais especificamente, no planejamento e controle da produção. Portanto, espera-se que o número de artigos sobre o assunto estudado neste trabalho ainda cresça e que sejam abordados estudos não apenas teóricos, como também empíricos sobre as primeiras adoções da tecnologia na manufatura e do novo modelo de gestão.

5. Conclusão

O presente estudo mapeou as principais pesquisas sobre o impacto das tecnologias da Indústria 4.0 na gestão de operações, por meio da análise de 27 artigos publicados em revistas de referência na área de gestão da produção nos últimos anos. Após a sistematização, concluiu-se que a pesquisa acerca da organização no contexto da Indústria 4.0 está bastante diversificada no que se refere ao planejamento e controle das operações. Contudo, mesmo com o filtro de revistas aplicado, evidencia-se a predominância de estudos sobre a gestão da informação e ainda pouco sobre o processo de decisão na operação.

O cerne da análise pretendida, impactos da Indústria 4.0 na gestão de operações, precisa ser mais explorado com o desenvolvimento de novos estudos. A literatura está crescendo nos

últimos anos com discussões na área de tecnologia de informação, utilizando as operações produtivas como exemplos de potenciais aplicações. No entanto, observa-se a necessidade de se discutir como transformar toda a disponibilidade de dados e tecnologias em vantagens competitivas a serem incorporadas pelas empresas com mudanças na forma de gerir o negócio.

Espera-se, por fim, que o presente trabalho represente uma referência inicial sobre a organização das atividades de planejamento e gestão no contexto da Indústria 4.0. A análise bibliográfica do tema não se limita às informações presentes nesta pesquisa. Para continuidade desse estudo, sugere-se também o desenvolvimento de outros tipos de estudo, como: (a) *survey* para identificar setores e práticas mais promissoras para adoção das tecnologias no Brasil; (b) estudos de caso, que permitam de forma empírica avaliar impacto da Indústria 4.0 sobre a gestão da produção e logística.

REFERÊNCIAS

AKTER, S. et al. How to improve firm performance using big data analytics capability and business strategy alignment? **International Journal of Production Economics**, v. 182, 2016.

BOCK, S.; ISIK, F. A new two-dimensional performance measure in purchase order sizing. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 16, 2015.

DOVERE, E.; CAVALIERI, S.; IERACE, S. RFID systems for moveable asset management: an assessment model. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 5, 2017.

FAN, T. et al. Impact of RFID technology on supply chain decisions with inventory inaccuracies. **International Journal of Production Economics**, v. 159, 2015.

FANG, J.; HUANG, G. Q.; LI, Z. Event-driven multi-agent ubiquitous manufacturing execution platform for shop floor work-in-progress management. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 4, 2013.

GEORGIADIS, P.; MICHALOUDIS, C. Real-time production planning and control system for job-shop manufacturing: A system dynamics analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 216, n. 1, p. 94–104, 2012.

GHOBAKHLOO, M.; HONG, T. S. IT investments and business performance improvement: the mediating role of lean manufacturing implementation. **International Journal of Production Research**, v. 7543, n. June 2015, p. 1–18, 2014.

GRÜNINGER, M. et al. Combining RFID with ontologies to create smart objects. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 9, 2010.

HWANG, G. et al. Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment. **International Journal of Production Research**, v. 7543, n. October, p. 1–13, 2016.

IVANOV, D. et al. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 2, p. 386–402, 2016.

KACHE, F.; SEURING, S. Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 37, n. 1, 2017.

KUMAR, A. et al. A big data MapReduce framework for fault diagnosis in cloud-based manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 23, 2016.

MATTHIAS, O. et al. Making sense of Big Data – can it transform operations management? **International Journal of Operations and Production Management**, v. 37, n. 1, 2017.

MEYER, G. G.; (HANS) WORTMANN, J. C.; SZIRBIK, N. B. Production monitoring and control with intelligent products. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 5, p. 1303–1317, 2011.

MULA, J. et al. Models for production planning under uncertainty: A review. **International Journal of Production Economics**, v. 103, n. 1, p. 271–285, 2006.

NG, I. et al. Contextual variety, Internet-of-Things and the choice of tailoring over platform: Mass customisation strategy in supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 159, p. 76–87, 2015.

PAPAZOGLU, M.; VAN DEN HEUVEL, W.-J.; MASCOLO, J. A Reference Architecture and Knowledge-based Structures for Smart Manufacturing Networks. **IEEE Software**, p. 61–70, 2015.

PEDROSO, M. C.; ZWICKER, R.; DE SOUZA, C. A. RFID adoption: framework and survey in large Brazilian companies. **Industrial Management & Data Systems**, v. 109, n. 7, p. 877–897, 2009.

PEREIRA, D. M.; SILVA, G. S. As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) como aliadas para o desenvolvimento. **Caderno de Ciência Sociais Aplicadas**, n. 10, p. 151–174, 2010.

PERO, M.; ROSSI, T. RFID technology for increasing visibility in ETO supply chains: A case study. **Production Planning and Control**, v. 25, n. 11, 2014.

QIU, X. et al. Physical assets and service sharing for IoT-enabled Supply Hub in Industrial Park (SHIP). **International Journal of Production Economics**, v. 159, p. 4–15, 2015.

SINRIECH, D.; KOTLARSKI, J. A dynamic scheduling algorithm for a multiple-load multiple-carrier system. **International Journal of Production Research**, v. 40, n. 5, p. 1065–1080, 2002.

TAN, K. H. et al. Harvesting big data to enhance supply chain innovation capabilities: An analytic infrastructure based on deduction graph. **International Journal of Production Economics**, v. 165, 2015.

WANG, J.; ZHANG, J. Big data analytics for forecasting cycle time in semiconductor wafer fabrication system. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 23, 2016.

XU, L. D. Information architecture for supply chain quality management. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 1, 2011.

ZAWADZKI, P.; ZYWICKI, K. Smart product design and production control for effective mass customization in the industry 4.0 concept. **Management and Production Engineering Review**, v. 7, n. 3, p. 105–112, 2016.

ZHANG, Q.; VONDEREMBSE, M. A.; CAO, M. Achieving flexible manufacturing competence. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 6, p. 580–599, 2006.

ZHANG, X. et al. IFSJSP: A novel methodology for the Job-Shop Scheduling Problem based on intuitionistic fuzzy sets. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 17, p. 5100–5119, 2013.

ZHONG, R. Y. et al. A big data approach for logistics trajectory discovery from RFID-enabled production data. **International Journal of Production Economics**, v. 165, 2015.