

A INDÚSTRIA 4.0 NA PERSPECTIVA DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: PANORAMA DAS ÁREAS DE CONHECIMENTO E APLICAÇÕES NO CONTEXTO NACIONAL

Industry 4.0 from the perspective of Production Engineering: overview of knowledge areas and applications in the national context

Tiago Fonseca Albuquerque Cavalcanti Sigahi¹

Universidade de São Paulo (USP), Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Produção.
tiagosigahi@usp.br

Bárbara Cristina de Andrade²

Universidade de Sorocaba (Uniso), Faculdade de Engenharia.
bandradeeng@gmail.com

RESUMO

Torna-se cada vez mais unísono entre os pesquisadores a ideia de que está em curso uma revolução tecnológica, conhecida como Indústria 4.0, capaz de fundir os mundos físico, digital e biológico, o que alterará profundamente a maneira como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Este novo paradigma produtivo tem atraído cada vez mais atenção de pesquisadores e profissionais. Contudo, muitos dos conceitos relacionados ao tema ainda são vagos, o que gera incerteza tanto nas empresas quanto na academia. Além disso, há uma lacuna na literatura referente a estudos que sistematizem o conhecimento sobre o tema. Em vista disso, esse artigo buscou traçar um panorama dos estudos sobre Indústria 4.0 na perspectiva das áreas de conhecimento da Engenharia de Produção (EP) no Brasil. Como resultados, identificou-se a evolução dos estudos sobre a Indústria 4.0 em termos de número de publicação; distribuição dos trabalhos segundo as áreas e subáreas da EP; abordagem de tecnologias e aplicações; e contribuições. Espera-se que esse artigo seja útil tanto para pesquisadores quanto para profissionais que atuam em áreas relacionadas à gestão, inovação, produção e engenharia, interessados em engajar-se no progresso da pesquisa sobre o tema.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Quarta Revolução Industrial. Engenharia de Produção.

ABSTRACT

It is becoming a common understanding among researchers the idea that a technological revolution is in progress, known as Industry 4.0, capable of merging the physical, digital and biological worlds, which will profoundly change the way we live, work and relate. The interest on the subject has increasingly grown within research community and industry. However, there are many concepts still vague, which creates uncertainty for researchers and professionals. In addition, there is a gap in the literature regarding the systematization of knowledge about the topic. Thus, this article provides an overview of the research on Industry 4.0 from the perspective of the knowledge areas of Production Engineering. Results show the evolution of research on Industry 4.0 regarding number of publication; areas/subareas of Production Engineering; technologies and applications; and contributions. It is expected that this article will be useful both for researchers and professionals working in areas related to management, innovation, production and engineering, interested in engaging in the progress of research on the subject.

Keywords: Industry 4.0. Fourth Industrial Revolution. Production Engineering. Industrial Engineering.

1 INTRODUÇÃO

Torna-se cada vez mais unísono entre os pesquisadores o discurso de que o fenômeno conhecido como Indústria 4.0 tem a capacidade de alterar profundamente a maneira como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos (GENTNER, 2016; QIN et al., 2016; PFOHL et al.,

2017; LIAO et al., 2018). Mais do que um conjunto de inovações tecnológicas, a Indústria 4.0 pode ser considerada uma “revolução” – palavra que denota mudança abrupta e radical – ou até mesmo uma “inovação social”, dado o seu potencial em alterar as mais diversas esferas da vida humana (MORRAR et al., 2017).

Liderado por Klaus Schwab, o Fórum Econômico Mundial realizou, em 2015, uma pesquisa que contou com mais de 800 executivos e especialistas do setor de tecnologia, identificando algumas das mudanças esperadas até 2025: 1 trilhão de sensores conectados à internet; o primeiro farmacêutico robô; a produção do primeiro carro e o transplante do primeiro fígado impressos em 3D; a primeira cidade sem semáforos com mais de 50.000 pessoas; 30% das auditorias corporativas realizadas por inteligência artificial (IA); a primeira máquina pertencente a um conselho de administração; entre outras (SCHWAB, 2016, p. 33-34).

No Brasil, estima-se que, até 2025, os processos relacionados à Indústria 4.0 poderão reduzir custos de manutenção de equipamentos em até 40%, reduzir o consumo de energia em até 20% e aumentar a eficiência do trabalho em até 25%, podendo impactar o PIB brasileiro em aproximadamente US\$ 39 bilhões até 2030 (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016, p. 17).

Pode-se dizer que a Indústria 4.0 traz consigo mudanças que atingem todas as esferas do que hoje conhecemos como “engenharia” (SCHWAB, 2016; ROBLEK et al., 2016; TROMPISCH, 2017). Segundo Benešová e Tupa (2017), em termos de educação e formação profissional e técnica, a transição para esse novo paradigma produtivo ainda não é possível devido, principalmente, à falta de profissionais qualificados. As habilidades requisitadas para um engenheiro envolverão tópicos como realidade aumentada, impressão 3D e *smart factories* (MOTYL et al., 2017). Especificamente em relação à Engenharia de Produção (EP), Sackey e Bester (2016) e Sackey et al. (2017) estudam o impacto da Indústria 4.0 nos currículos e concluem que há a necessidade de uma reengenharia do conteúdo e das matrizes curriculares dos cursos.

Diante da relevância desse tema para a EP, para as engenharias e para o desenvolvimento da sociedade como um todo, e considerando também a lacuna da literatura quanto a trabalhos que sistematizem o conhecimento sobre a Indústria 4.0 (LIAO et al., 2017), esse estudo pretende contribuir para responder as seguintes questões: como têm evoluído as pesquisas sobre a Indústria 4.0 no Brasil na perspectiva da EP? Quais as áreas da EP que mais têm sido relacionadas a esse tema? Quais as tecnologias e áreas de aplicação mais estudadas?

Quais as contribuições de artigos sobre o tema publicados nos principais periódicos nacionais de EP?

Esse trabalho será útil tanto para pesquisadores (aqueles que já pesquisam sobre a Indústria 4.0 e aqueles que pretendem iniciar um projeto) quanto para profissionais da área de EP interessados em conhecer o progresso da pesquisa brasileira sobre o assunto.

Esse artigo está estruturado nas seguintes seções: partindo-se da introdução e objetivos aqui apresentados, apresenta-se na seção 2 um breve histórico, conceitos e tecnologias importantes para o entendimento do tema Indústria 4.0. Em seguida, na seção 3 são detalhados os procedimentos metodológicos e critérios adotados para busca, seleção e análise dos artigos. Na seção 4 são apresentados os resultados do estudo referentes aos artigos de congressos de EP de relevância nacional: evolução das publicações, classificação segundo a área/subárea da EP, tipo de tecnologia e aplicações estudadas. Na seção 5 são sintetizados os trabalhos sobre Indústria 4.0 publicados nos principais periódicos de EP, destacando-se suas contribuições. Por fim, a seção 6 apresenta uma síntese das contribuições, as limitações do estudo e as considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria 4.0: Fundamentação teórica e *framework* analítico

O paradigma da Indústria 4.0 foi mencionado pela primeira vez em 2011, na Alemanha (ROBLEK et al., 2016; SCHWAB, 2016, p. 16; SANTOS et al., 2017), e, nos últimos anos, tem se popularizado como uma forma de descrever a tendência da digitalização e automação do ambiente de manufatura (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

De acordo com Morrar et al. (2017, p. 13), nos EUA o termo mais utilizado é *Connected Enterprises*, enquanto autores como Kubinger e Sommer (2016) e Schwab (2016) se referem a esse fenômeno como a Quarta Revolução Industrial, o que pode ser explicado conforme o quadro 1:

Quadro 1 – Período e características das Revoluções Industriais

Revolução Industrial	Período	Características
Primeira	1760-1840	Mecanização; provocada pela construção de

		ferrovias e pela invenção da máquina a vapor
Segunda	Início no final do século XIX	Produção em massa; surgimento da eletricidade e da linha de montagem
Terceira	Início na década de 1960	Revolução digital; impulsionada pelo desenvolvimento da computação e da internet, quando torna-se comum o uso de eletrônicos e Tecnologia da Informação nos processos de produção
Quarta	Atualmente em curso	Fusão de tecnologias e interação entre os domínios físico, digital e biológico

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Weiss et al. (2016) e Schwab (2016)

Liao et al. (2017) afirmam que o número de conferências e artigos acadêmicos relacionados à Indústria 4.0 aumentou gradualmente, de 2013 para 2015, em 12,6 vezes e 24,2 vezes, respectivamente. Diante da evolução das pesquisas sobre o assunto, trabalhos como os de Roblek et al. (2016) e Qin et al. (2016) já buscam organizar o conhecimento existente sobre o tema, desenvolvendo *frameworks* e *roadmaps*. Contudo, dada a incipiência do tema, muitas das ideias relacionadas à Indústria 4.0 ainda são vagas (GENTNER, 2016) e geram incertezas tanto nas empresas quanto na academia (QIN et al., 2016). Assim, torna-se relevante apresentar a visão de diferentes autores sobre a definição de Indústria 4.0 (quadro 2):

Quadro 2 – Definições de Indústria 4.0

Autor(es)	Definição de Indústria 4.0
Lasi et al. (2014)	A Indústria 4.0 descreve o futuro projeto que pode ser definido por duas direções de desenvolvimento: mudanças sociais, econômicas e políticas gerais (períodos de desenvolvimento curtos, individualização sob demanda, flexibilidade, descentralização e eficiência de recursos) e amplas abordagens tecnológicas (aumento da mecanização e automação, digitalização e rede, miniaturização).
Weiss et al. (2016)	O paradigma da Indústria 4.0 descreve a iminente quarta revolução industrial e vislumbra as <i>smart factories</i> nas quais humanos e robôs trabalharão cada vez mais próximos
Zawadzki e Zywicki (2016)	O conceito de Indústria 4.0 combina as conquistas tecnológicas dos últimos anos com a visão de futuro onde há sistemas de produção inteligentes e automatizados, nos quais um mundo real está ligado a um mundo virtual, assegurando um uso mais eficiente da informação disponível
Wang et al. (2016)	A Indústria 4.0 descreve um sistema de produção orientado para sistemas ciberfísicos que integram instalações de produção, sistemas de armazenagem, logística e até requisitos sociais para estabelecer redes de criação de valor global
Stock e Seliger (2016)	O paradigma da Indústria 4.0 é delineado essencialmente por três dimensões: <i>i</i>) integração horizontal em toda a rede de criação de valor, <i>ii</i>) engenharia <i>end-to-end</i> em todo o ciclo de vida do produto e <i>iii</i>) integração vertical e rede sistemas de manufatura
Longo et al. (2017)	Os conceitos da Indústria 4.0 pretendem capturar as últimas tendências e os principais requisitos para obter vantagens competitivas sustentáveis no cenário global
Pfohl et al. (2017)	A quarta revolução industrial é caracterizada pelas tendências tecnológicas de digitalização, autonomização, transparência, disponibilidade de informação em tempo real e colaboração
Santos et	Os fundamentos básicos da Indústria 4.0 implicam que através da conexão de máquinas, sistemas

al. (2017)	e recursos, as organizações podem criar redes inteligentes ao longo da cadeia de valor controlando os processos de produção de forma autônoma
------------	---

Fonte: Elaborado pelos autores

De maneira geral, nota-se convergência entre as definições desses autores no que diz respeito às “fábricas inteligentes”, à articulação entre o mundo físico e digital e ao uso de informação em tempo real.

Quanto às tecnologias que compõem o paradigma da Indústria 4.0, também ocorre concordância entre boa parte dos autores. O quadro 3 mostra o *framework* analítico que busca unir as visões acadêmica (SCHWAB, 2016, pp. 24-26, p. 141-142; considerado por muitos o “pai da Indústria 4.0”) e de mercado (RUBMANN et al., 2015, pp. 5-7; relatório sobre a Indústria 4.0 elaborado pelo *The Boston Consulting Group*):

Quadro 3 – Framework: Tecnologias da Indústria 4.0

Tecnologia	Descrição/Aplicações
Robótica avançada	Robôs mais adaptáveis e flexíveis; futuramente, sua interação com outras máquinas e humanos será uma realidade cotidiana
Internet das coisas	Pode ser descrita como a relação entre coisas (produtos, serviços, lugares) e pessoas, através de plataformas e tecnologias conectadas
Segurança cibernética	Meios de comunicação cada vez mais confiáveis e sofisticados
Computação em nuvem	Banco de dados capaz de ser acessado de qualquer lugar do mundo em milissegundos, por meio de dispositivos conectados à internet
Manufatura aditiva	Produção de ampla gama de produtos por meio de impressoras 3D, por meio de adição de matéria-prima, sem o uso de moldes físicos
Realidade aumentada	Já é utilizada em uma variedade de serviços; futuramente, sua abrangência será maior devido ao uso de informações em tempo real para melhorar a tomada de decisões
<i>Big Data e Analytics</i>	Identifica falhas, economiza energia, aumenta a qualidade e eficiência na utilização de recursos na produção
Inteligência artificial	Pode reduzir custos, proporcionar ganhos de eficiência e até mesmo “computadorizar” empregos
Novos materiais	São mais leves e fortes, recicláveis e adaptáveis; podem ser “inteligentes” com propriedades como autorreparação ou autolimpeza

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Rubmann et al. (2015) e Schwab (2016)

3. METODOLOGIA

Este trabalho é caracterizado como teórico-conceitual e busca sistematizar os estudos sobre a Indústria 4.0 publicados em congressos e periódicos nacionais de EP.

Os eventos escolhidos foram o Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP; organizado pela ABEPRO) e o Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP; organizado pelo DEP/UNESP/Bauru). Tais escolhas se justificam pelas seguintes razões: *i*) no ano de realização do presente estudo, o ENEGEP e o SIMPEP realizavam, respectivamente,

suas 37^a e 24^a edições, o que reflete a importância dos eventos perante a comunidade da EP; *ii*) ambos utilizam o sistema de classificação das áreas/subáreas da EP da ABEPRO (2017); e *iii*) ambos possuem sistemas de indexação/busca de artigos que favorecem a realização dos procedimentos de categorização dos trabalhos. Acrescenta-se ainda que, devido ao alcance, abrangência e relevância de eventos como o ENEGEP, pode-se considerar que os trabalhos neles publicados refletem o estado da arte da pesquisa brasileira na área (BERTO; NAKANO, 2000).

A escolha dos periódicos foi realizada com base na lista de periódicos da entidade representativa nacional da EP, a ABEPRO (2014). Foram analisados o foco e escopo de cada revista, bem como o conceito Qualis para Engenharias III, sendo selecionados para este estudo oito periódicos (quadro 4).

Quadro 4 – Periódicos de Engenharia de Produção selecionados para o estudo

Periódico	Qualis (Engenharias III)
Gestão & Produção (G&P)	B3
<i>Production</i>	B3
Exacta	B4
Gestão da Produção, Operações e Sistemas (GEPROS)	B4
Produção Online	B4
<i>Product</i>	B4
<i>Brazilian Journal of Operations & Production Management</i> (BJO&PM)	B5
Produto & Produção (P&P)	B5

Fonte: elaborado pelos autores

Definidas as bases de dados, foram determinados os parâmetros e critérios de busca e seleção dos artigos, conforme quadro 5:

Quadro 5 – Parâmetros e critérios de busca e seleção dos artigos

Tema	Indústria 4.0
Referências primárias	<ul style="list-style-type: none"> • Rubmann et al. (2015): relatório do BCG “<i>Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries</i>” • Schwab (2016): livro “A Quarta Revolução Industrial” • Liao et al. (2017): artigo “<i>Past, present and future of industry 4.0: a systematic literature review and research agenda proposal</i>”
Palavras-chave	indústria 4.0, quarta revolução industrial, <i>connected enterprises</i> , manufatura avançada, tecnologias avançadas de manufatura, sistema ciberfísico, manufatura aditiva, impressão 3D, <i>big data</i> , <i>analytics</i> , inteligência artificial, realidade aumentada, nuvem, internet das coisas, robótica, novos materiais, <i>smart</i>
Crítérios de inclusão	<ul style="list-style-type: none"> • O artigo deve abordar pelo menos uma das tecnologias da Indústria 4.0 • O artigo deve ter sido publicado entre 2011 (ano de surgimento do termo “Indústria 4.0”) e 2016 (última edição de ambos os eventos no momento de realização do estudo)
Crítérios de qualificação	<ul style="list-style-type: none"> • O artigo deve apresentar contribuições relacionadas à Indústria 4.0 e não apenas limitar-se a utilizar esse paradigma como contexto

Fonte: Elaborado pelos autores

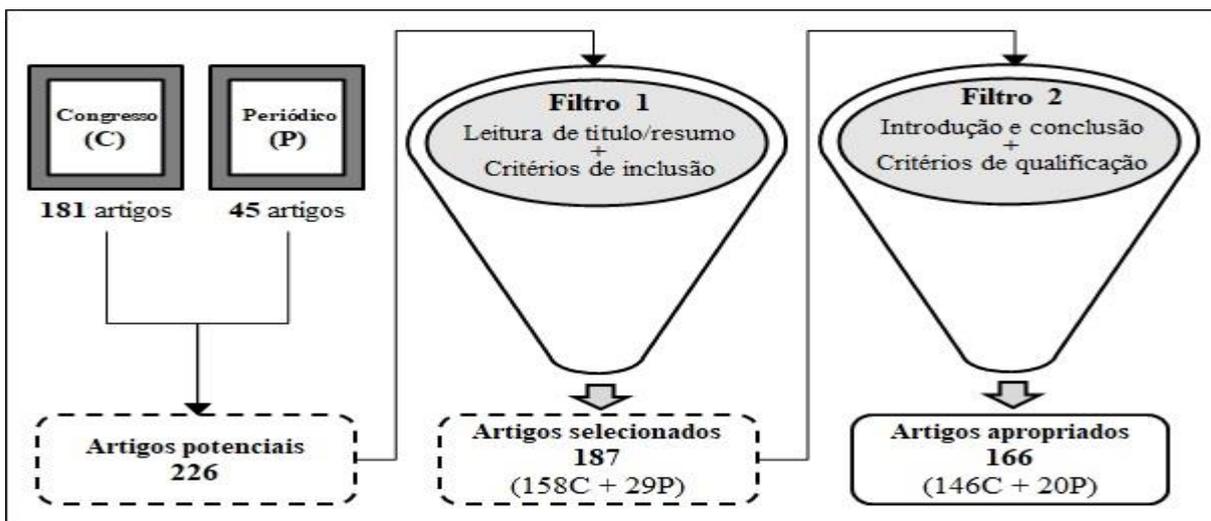
As referências primárias foram determinantes para a definição do escopo do estudo e das palavras-chave. Buscou-se considerar tanto a visão do mercado (RUBMANN et al., 2015) quanto da academia, representada em livro referência sobre o tema (SCHWAB, 2016) e artigo recente de revisão sistemática da literatura (LIAO et al., 2017).

Dada a abrangência do tema e a existência de conceitos que ainda necessitam de melhor definição (GENTNER, 2016; QIN et al., 2016), a escolha das palavras-chave foi realizada de modo a reduzir o risco de não localização de artigos potencialmente úteis ao estudo. Vale destacar que foram buscados os termos tanto em português como em inglês (e.g. internet das coisas e *internet of things*, computação em nuvem e *cloud computing*). Além disso, é importante notar que termos como “*smart*” compreendem diversas combinações, como por exemplo, nesse caso, *smart city* e *smart factory*, todas consideradas no estudo.

Uma vez que o termo Indústria 4.0 foi mencionado pela primeira vez no ano de 2011 (ROBLEK et al., 2016; SCHWAB, 2016), foram considerados trabalhos publicados no intervalo entre 2011 e 2018.

A figura 1 ilustra as etapas do processo de busca e seleção dos artigos:

Figura 1 – Etapas do processo de busca e seleção dos artigos



Fonte: Elaborada pelos autores

A primeira etapa consistiu na busca de artigos nas bases de dados dos congressos (ENESEP e SIMPEP) e periódicos de EP (quadro 4) considerando os parâmetros estabelecidos no quadro 5. Tal pesquisa foi realizada no mês de janeiro de 2018. Foram encontrados 226 artigos potenciais, posteriormente submetidos ao primeiro filtro: leitura de título e resumo, buscando verificar os critérios de inclusão. Os 187 artigos resultantes foram submetidos a uma leitura mais atenta das seções de introdução e conclusão, tendo sido

identificados 166 artigos (146 de congressos e 20 de periódicos) que atendem aos critérios de qualificação determinados, ou seja, que são apropriados ao estudo.

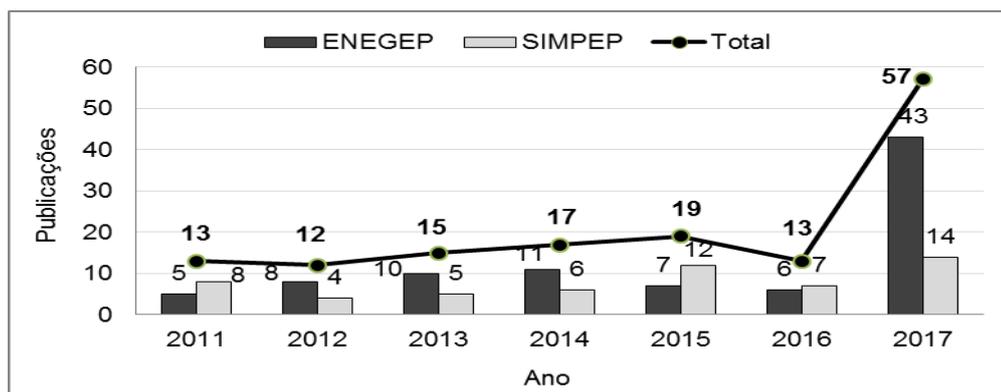
Optou-se por apresentar separadamente os resultados das análises dos artigos de congressos (seção 4) e periódicos (seção 5). Tal decisão foi tomada devido: *i*) ao sistema de classificação/indexação dos artigos do ENEGEP e do SIMPEP que favorecem a organização dos mesmos nas áreas e subáreas da EP, o que é especialmente útil para responder à seguinte questão proposta: “quais as áreas da EP que mais têm sido relacionadas a esse tema?”; *ii*) à diferença na profundidade das análises realizadas em artigos de congresso e periódico, sendo que os *findings* destes últimos são essenciais para responder à questão “quais as contribuições sobre o tema publicadas nos principais periódicos nacionais de EP?”.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Panorama das publicações em congressos nacionais

Foram definidos 146 artigos publicados em anais de congressos, sendo 90 do ENEGEP e 56 do SIMPEP. A figura 2 mostra a distribuição dos artigos por ano:

Figura 2 – Publicações sobre temas relacionados à Indústria 4.0



Fonte: Elaborada pelos autores

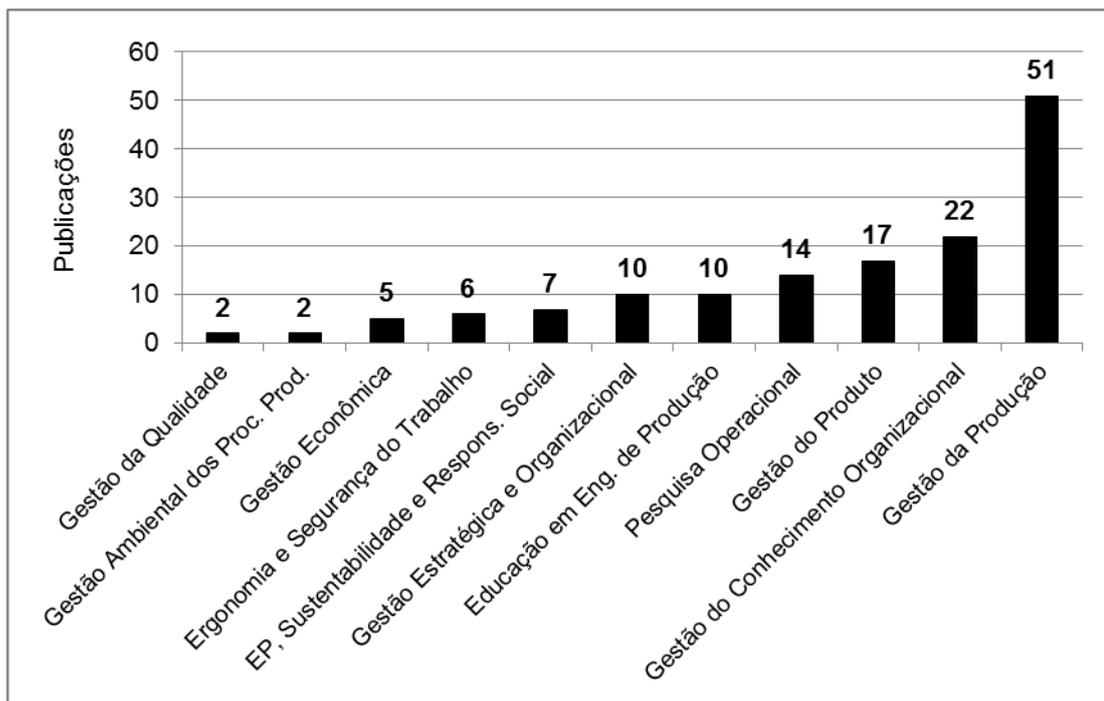
Nota-se que, entre 2011 (ano em que começa a se popularizar o termo “Indústria 4.0”) e 2016, há pouca variação na quantidade total de artigos publicados (desvio padrão igual a 2,73). O mesmo ocorre se analisados os eventos em separado: desvio padrão igual a 2,32 e 2,83 para o ENEGEP e o SIMPEP, respectivamente. No entanto, há um crescimento significativo no ano de 2017 (aumento de 384% em relação à média de publicações dos anos anteriores). Isso ocorreu, principalmente, devido à quantidade de artigos do ENEGEP 2017

(43), certamente influenciada pelo tema desta edição: “A EP e as novas tecnologias produtivas: indústria 4.0, manufatura aditiva e outras abordagens avançadas de produção”.

4.2 Distribuição dos trabalhos: áreas de conhecimento

Ambos os congressos classificam os artigos em 11 áreas da EP (ABEPRO, 2017; SIMPEP, 2017). A figura 3 mostra a distribuição dos artigos segundo tais áreas:

Figura 3 – Publicações por área da EP sobre temas da Indústria 4.0



Fonte: Elaborada pelos autores

As informações da figura 3 foram coletadas nos bancos de dados do ENEGEP e do SIMPEP, isto é, as áreas dos artigos foram informadas (e aprovadas pelos revisores) pelos próprios autores no processo de submissão dos trabalhos.

Gestão da Produção figura como a área com maior concentração de publicações sobre a Indústria 4.0 (34,9%). Em parte, isso se deve à quantidade significativa de estudos gerais (e.g. revisão da literatura, bibliometria, análises teóricas) que acabam por ser classificados nesta área.

Se somarmos à Gestão da Produção as áreas de Gestão do Conhecimento Organizacional, Gestão do Produto e Pesquisa Operacional, essa proporção atinge 71,2%. Em grande medida, tal resultado se deve ao fato de que tais áreas congregam, respectivamente,

diversos artigos sobre internet das coisas, manufatura aditiva e IA, tecnologias que despertam cada vez mais interesse dos pesquisadores.

Fica claro que as maiores defasagens estão em Gestão da Qualidade e Gestão Ambiental dos Processos Produtivos – cada uma com apenas 1,4% dos artigos. Esta última, inclusive, considerada por diversos autores (e.g. STOCK; SELIGER, 2016; MAN; STRANDHAGEN, 2017) como uma área de grande interface e importância para o desenvolvimento da Indústria 4.0.

A tabela 1 mostra detalhadamente a distribuição das publicações de acordo com as subáreas da EP determinadas por ambos os congressos:

Tabela 1 – Detalhamento das publicações sobre Indústria 4.0 por subárea da EP e ano

Área	Subárea	Artigos por ano							Total
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Gestão da Produção	Gestão de Operações e Serviços	0	1	0	1	0	0	4	6
	Gestão de Sistemas de Produção	0	2	1	1	0	1	10	15
	Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos e Distribuição	0	2	2	2	3	1	7	17
	Planejamento de Controle da Produção	0	0	1	0	0	1	0	2
	Gestão de Processos Produtivos	0	0	0	0	1	2	2	5
	Projeto de Fábrica e de Instalações Industriais	0	0	0	1	0	1	0	2
	Gestão da Manutenção	0	0	0	0	0	0	1	1
	Simulação da Produção	0	0	0	0	1	0	2	3
Gestão da Qualidade	Qualidade em Serviços	0	0	0	0	0	0	1	1
	Controle Estatístico da Qualidade	0	0	0	0	1	0	0	1
Gestão Econômica	Engenharia Econômica	1	0	0	0	0	0	0	1
	Gestão de Investimentos	2	1	0	0	0	0	0	3
	Gestão de Desempenho de Sistemas de Produção e Operações	0	0	0	0	0	1	0	1
Ergonomia e Segurança do Trabalho	Projeto e Gestão da Segurança do Trabalho	0	0	2	0	0	0	0	2
	Análise e Prevenção de Riscos de Acidente	0	0	0	1	0	0	0	1
	Psicologia do Trabalho	0	0	0	0	0	1	0	1
	Ergonomia do Produto	1	0	0	1	0	0	0	2
Gestão do Produto	Marketing do Produto	0	1	0	0	0	0	0	1
	Engenharia de Produto	0	1	2	0	3	1	3	10
	Pesquisa de Mercado	0	0	0	1	0	1	1	3
	Planejamento do Produto	0	0	0	1	0	1	1	3
Pesquisa Operacional	Modelagem, Análise e Simulação	2	1	3	2	0	0	2	10
	Decisão Multicritério	0	0	1	0	1	0	0	2
	Teoria da Decisão e Teoria dos Jogos	0	0	0	1	0	0	1	2
Gestão Estratégica e	Planejamento Estratégico e Operacional da Estrutura Organizacional	1	0	0	0	0	0	1	2

Organizacional	Estratégias de Produção	0	0	0	0	0	0	1	1
	Gestão e Estratégia de Mercados e Produtos	0	0	0	0	2	0	2	4
	Organização Industrial	0	0	0	0	0	0	1	1
	Redes de Empresas e Gestão da Cadeia Produtiva	0	0	0	0	1	0	1	2
Gestão do Conhecimento Organizacional	Gestão da Informação de Produção e Operações	1	0	1	1	0	0	0	3
	Gestão da Inovação	0	1	1	0	2	0	3	7
	Gestão da Tecnologia	1	1	0	3	3	0	3	11
	Gestão do Conhecimento em Sistemas Produtivos	0	0	0	0	1	0	0	1
Gestão Ambiental dos Processos Produtivos	Gestão de Recursos Naturais	0	0	0	0	0	0	1	1
	Gestão Energética	0	0	0	0	0	1	0	1
Educação em Engenharia de Produção	Estudo do Ensino em EP	2	0	1	0	0	0	2	5
	Prática Profissional em EP	0	0	0	0	0	0	1	1
	Estudo do Desenvolvimento e Aplicação da Pesquisa em EP	2	0	0	0	0	0	2	4
EP, Sustentabilidade e Responsabilidade Social	Ética e Transparência nas Decisões Organizacionais	0	0	0	0	0	0	1	1
	Desenvolvimento Sustentável em EP	0	1	0	1	0	1	3	6

Fonte: Elaborada pelos autores

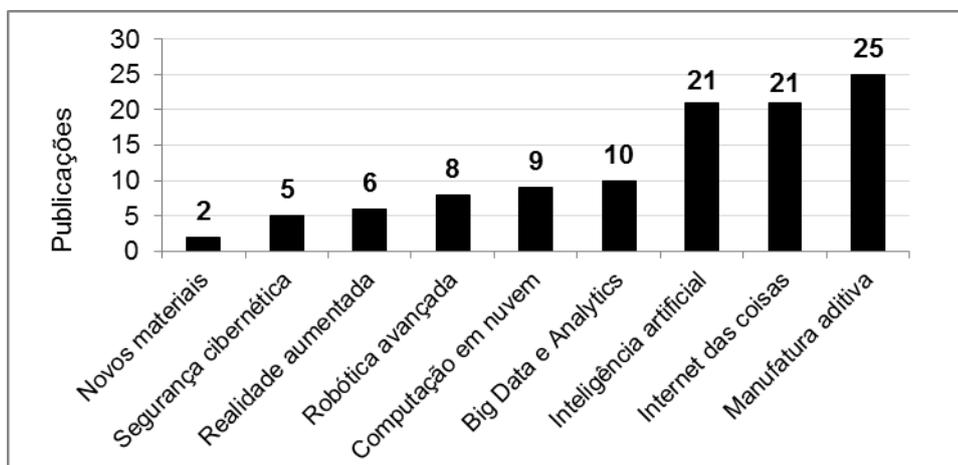
A partir desses dados foi possível assinalar as seguintes observações:

- apenas em 2017 ocorreu a publicação de mais de três artigos em uma mesma subárea (Gestão de Operações e Serviços; Gestão de Sistemas de Produção; e Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos e Distribuição);
- 40 das 59 subáreas (67,8%) tiveram pelo menos uma publicação, o que mostra a abrangência do tema e sua estreita relação com as mais diversas áreas da EP;
- a subárea com maior número de artigos foi Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos e Distribuição, com destaque para temas relacionados à gestão de estoque e ao uso do RFID (*Radio-Frequency Identification*);
- a subárea de Engenharia de Produto, que representa 58,9% da área de Gestão do Produto, se destaca pela constância de publicações (das sete edições consideradas, cinco delas tiveram trabalhos), sendo que a maioria delas trata da manufatura aditiva e de impressoras 3D;
- 19 subáreas da EP não receberam nenhum trabalho, entre elas: Gestão de Custos, Projeto e Organização do Trabalho, Ergonomia dos Processos de Produção, Produção mais Limpa e Ecoeficiência, etc.

4.3 Tecnologias, temas e aplicações

A figura 4 mostra a distribuição de artigos por tipo de tecnologia abordada:

Figura 4 – Publicações por tipo de tecnologia da Indústria 4.0



Fonte: elaborada pelos autores

A partir destes dados é possível notar que 26,7% dos trabalhos consistem em estudos que abordam a Indústria 4.0 como um todo, como por exemplo, revisões sistemáticas e bibliométricas, além de textos que buscam discutir de maneira geral os impactos deste novo paradigma ou o relacionamento deste com uma área/indústria específica.

A tabela 2 detalha a quantidade de artigos publicada por ano e tecnologia:

Tabela 2 – Detalhamento das publicações sobre Indústria 4.0 por tecnologia e ano

Tecnologia	Ano							Total	Porcentagem
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
Manufatura aditiva	0	0	2	5	5	3	10	25	0,23
Inteligência artificial	3	3	4	5	4	1	1	21	0,20
Internet das coisas	1	2	0	1	3	2	12	21	0,20
Big Data e Analytics	2	1	0	1	0	1	5	10	0,09
Computação em nuvem	1	0	2	2	2	2	0	9	0,08
Robótica avançada	3	3	1	0	0	0	1	8	0,07
Realidade aumentada	0	0	0	1	2	2	1	6	0,06
Segurança cibernética	0	1	2	1	0	0	1	5	0,05
Novos materiais	0	0	1	1	0	0	0	2	0,02
Total	10	10	12	17	16	11	31	107	1

Fonte: elaborada pelos autores

A partir dessas informações foi possível notar:

- 63% dos estudos abordam as tecnologias de manufatura aditiva, IA ou internet das coisas, o que condiz com o resultado obtido anteriormente para as áreas da EP em

relação à significativa parcela de artigos classificados nas áreas de Gestão do Produto, Pesquisa Operacional e Gestão do Conhecimento Organizacional, respectivamente;

- o menor número de artigos foi em relação à categoria “novos materiais”, o que pode ocorrer devido à opção dos pesquisadores em publicar em congressos especializados em ciências dos materiais;
- ainda que tenha apresentado declínio nos últimos dois anos, IA foi a única tecnologia abordada pelo menos uma vez em todos os anos considerados no estudo;
- nota-se um aumento de interesse dos pesquisadores em relação à manufatura aditiva, *big data* e internet das coisas, que apresentaram, respectivamente, crescimento de 400%, 600% e 800% em relação à média de publicações dos anos anteriores.

O quadro 6 reúne algumas das aplicações dessas tecnologias:

Quadro 6 – Aplicações das tecnologias da Indústria 4.0

Tecnologia	Aplicações
Novos materiais	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão de riscos em atividades de nanotecnologia • Utilização de tecido fotocromico em artigos de moda
Segurança cibernética	<ul style="list-style-type: none"> • Interoperabilidade logística e influência no desempenho logístico • Aplicação na área de logística humanitária (gestão de desastres) • Segurança de dispositivos ligados a internet
Realidade aumentada	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de prótese • Aplicação na indústria cinematográfica • Utilização na análise ergonômica de posto de trabalho • Auxílio de operadores na execução de atividades de logística interna
<i>Big Data e Analytics</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Criação de campanhas publicitárias • Logística urbana • Utilização de <i>softwares</i> na área de <i>Business Intelligence</i>
Robótica	<ul style="list-style-type: none"> • Ensino de temas de controle e automação • Desenvolvimento de robô híbrido para redução de impacto ambiental • Estudo da eficiência de ROVs de manutenção no setor petrolífero • Robôs em Sistemas Flexíveis de Manufatura • Ensino de lógica de programação para engenharia • Ensino de ferramentas de gestão de qualidade (FMEA e FTA) • Customização de <i>smartphones</i>
Internet das coisas	<ul style="list-style-type: none"> • RFID em processos de armazenagem no varejo • RFID em processo de embarque de cargas refrigeradas • RFID em rastreabilidade de medicamentos • RFID em processos de movimentação de cana de açúcar • Sistema de pagamento de bilhete de ônibus via <i>smartphone</i> • Pesquisa de mercado sobre <i>smart</i> coleira para animais domésticos • Controle de produção de calçados • Impactos da IoT no contexto de cidades inteligentes • Análise de CLPs de monitoração na produção de petróleo • Gestão da manutenção por controle <i>mobile</i> • Monitoramento médico à distância de idosos
Computação em nuvem	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão de estoque • Gerenciar requisitos de segurança em construção civil • Utilização de <i>cloud computing</i> em processos gerenciais • Criação de biblioteca virtual de manuais de manutenção de aeronaves
Manufatura aditiva	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de impressora 3D com uso de material reciclável • Proposta de método de seleção de processo de prototipagem rápida • Aplicação em indústria calçadista • Aplicação em indústria de pré-fabricados de concreto • Fabricação de implantes dentários • Prototipagem rápida em ambiente <i>job shop</i> • Desenvolvimento de recicladora de filamentos de impressoras 3D

Inteligência artificial	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de investimento em ações / projetos de inovação • Predição de índices financeiros • Análise de crédito de clientes • Aplicação na área médica (realização de pré-diagnósticos) • Controle de estoque • Predição da concentração cáustica na produção de alumina • Previsão de preço do adubo • Controle de dosagem de cloro em Estação de Tratamento de Água • Desenvolvimento de tecnologias assistivas • Gestão e previsão de vendas • Seleção de fornecedores • Controle de tráfego urbano • Desenvolvimento de <i>kits</i> de aprendizagem para engenharia
-------------------------	--

Fonte: Elaborado pelos autores

Em concordância com o que foi constatado anteriormente sobre o alto número de publicações em Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos e Distribuição, muitas das aplicações identificadas estão relacionadas a essa subárea: segurança cibernética (desempenho logístico; logística humanitária), realidade aumentada (logística interna), *Big Data e Analytics* (logística urbana), internet da coisas (uso do RFID em empresas dos setores de saúde, varejo, cargas refrigeradas e sucroalcooleira) e IA (seleção de fornecedores).

Observou-se aplicações que revelam preocupação ambiental (desenvolvimento de impressora 3D com uso de material reciclável; desenvolvimento de extrusora recicladora de filamentos de impressoras 3D; controle de dosagem de cloro em Estação de Tratamento de Água; desenvolvimento de robô híbrido para redução de impacto ambiental) e social (estudo sobre a contribuição da IA para o desenvolvimento de tecnologias assistivas; gestão de desastres).

Especificamente em relação à IA, notou-se a abordagem de diversas aplicações no mercado financeiro, como por exemplo: análise de investimento em ações, predição de índices financeiros e análise de crédito de clientes. Foram observadas também iniciativas na área de educação, como por exemplo, em robótica (ensino de temas de controle e automação, lógica de programação e ferramentas de gestão de qualidade) e IA (desenvolvimento de *kits* de aprendizagem para engenharia).

Ademais, vale observar a oportunidade de pesquisa em mercados emergentes e/ou pouco explorados, como observado em novos materiais (nanotecnologia; artigos de moda), realidade aumentada (indústria cinematográfica), *Big Data e Analytics* (criação de campanhas publicitárias) e internet das coisas (mercado de *pets*).

4.4 Panorama das publicações em periódicos

O quadro 7 mostra os artigos de periódicos selecionados para o estudo:

Quadro 7 – Artigos de periódicos de EP selecionados

Autor(es)	Título do artigo	Periódico	Tópico da Indústria 4.0
Baierle et al. (2011)	O ciclo da produção de inteligência como apoio à estratégia de tomada de decisão organizacional	Produção Online	Inteligência artificial
Porthun et al. (2011)	<i>Boundary objects in offshore platform design: the connections between individual and collective dimensions</i>	<i>Product</i>	Manufatura aditiva
Castillo et al. (2012)	Apresentação de métodos para implementação de plataformas colaborativas de Sistemas Automatizados de Produção	GEPROS	Robótica
Souza e Sassi (2014)	Classificação de portfólio de créditos não-performados utilizando redes neurais artificiais Multilayer Perceptron	GEPROS	Inteligência artificial
Frazzon et al. (2015)	<i>Big data applied to cyber-physical logistic systems: conceptual model and perspectives</i>	BJO&PM	<i>Big data</i>
Giordano et al. (2015)	Análise dos custos da produção por manufatura aditiva em comparação a métodos convencionais	Produção Online	Manufatura aditiva
Mançanares et al. (2015)	<i>Sustainable manufacturing strategies: a literature review on additive manufacturing approach</i>	<i>Product</i>	Manufatura aditiva
Alarcón et al. (2016)	<i>Using the Internet of Things in a production planning context</i>	BJO&PM	Internet das coisas
Antoneli e Neitzel (2016)	Aplicação de redes neurais artificiais na indústria de fios de algodão	GEPROS	Inteligência artificial
Boza et al. (2016)	<i>Conceptual framework for applying Internet of Things in production systems for sensing enterprises</i>	BJO&PM	Internet das coisas
Lima et al. (2016)	Estruturação de um sistema de custeio baseado no método da UEP aplicada a uma fábrica em realidade virtual	Produto & Produção	Realidade aumentada
Pereira et al. (2016)	Organizational interoperability in support of competitiveness	BJO&PM	Interoperabilidade
Savazzi e Barbosa (2016)	<i>Influency of cutting tool's angle on milling of composite materials performed by robots</i>	BJO&PM	Robótica
Durão et al. (2017)	Indústria 4.0: Formação de Redes de Projeto em Manufatura Distribuída	GEPROS	Manufatura aditiva
Ferreira et al. (2017)	Aplicação de uma rede neuro Fuzzy para a previsão do comportamento do tráfego veicular urbano na região metropolitana da cidade de São Paulo	Exacta	Inteligência artificial
Miranda Júnior et al. (2017)	The Internet of Things sensors technologies and their applications for complex engineering projects: a digital construction site framework	BJO&PM	Internet das coisas
Pereira e Chwif (2017)	<i>Applying the smart city philosophy in Brazil for improving urban traffic condition by agent-based simulation</i>	BJO&PM	<i>Smart city</i>
Rodrigues et al. (2017)	Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações	GEPROS	Manufatura aditiva
Thomann et al. (2017)	<i>How 3D printing technologies can contribute into an iterative design process? Case study to hit a drum for Disabled Children</i>	<i>Production</i>	Manufatura aditiva
Liao et al. (2018)	<i>The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison</i>	<i>Production</i>	Revisão da literatura

Fonte: Elaborado pelos autores

Considerando-se os parâmetros da presente pesquisa, nota-se que não foram encontrados artigos no periódico *Gestão & Produção*.

O estudo teórico-conceitual de Baierle et al. (2011) trata da IA e investiga a relação entre Inteligência Competitiva, Gestão do Conhecimento e Sistemas Baseados em Conhecimento. A principal contribuição dos autores é a apresentação de um modelo para organização, tratamento e armazenamento de informações, visando a tomada de decisão. Outros três artigos abordam a IA, a saber: Souza e Sassi (2014) e Antoneli e Neitzel (2016) aplicam a técnica de redes neurais, respectivamente, na criação de modelos de classificação de créditos e no desenvolvimento de um sistema de avaliação da qualidade de fios de algodão; e Ferreira et al. (2017) aplicam uma rede neuro *Fuzzy* para prever o comportamento do tráfego urbano na cidade de São Paulo.

Seis artigos tratam da manufatura aditiva. Rodrigues et al. (2017) apresentam uma proposta de organização das aplicações da manufatura aditiva em sete áreas: equipamentos de baixo custo, produção de bens de consumo, produtos voltados à área de saúde, prototipagem industrial, MRO (*maintenance, repair and operations*), produção de ferramental e inserção em processos produtivos em série com eventual customização. Além disso, os autores avaliam o estado da arte sobre manufatura aditiva buscando direcionar iniciativas na área tanto em empresas como em instituições de pesquisa. De maneira mais focada, Mançaneres et al. (2015) realizam uma revisão da literatura referente ao tema da sustentabilidade no contexto da manufatura aditiva. Thomann et al. (2017) abordam o tema da tecnologia assistiva. Os autores desenvolvem um instrumento de percussão (baqueta) para crianças com deficiência. Ao longo do estudo, exploram o uso de tecnologias de prototipagem rápida e a fase de validação dos produtos junto aos usuários. Porthun et al. (2011) utilizam modelos 3D no processo de de plataformas *offshore*. Durão et al. (2017) estudam a formação de redes em projetos de manufatura distribuída e identificam como ocorre o compartilhamento de conhecimento entre os envolvidos e o tipo de informação processada. Por sua vez, Giodarno et al. (2015) comparam os custos de produção de uma peça padrão entre manufatura aditiva e métodos convencionais, e concluem que, apesar do potencial de melhoria, a primeira ainda possui custos maiores.

O conceito de *Sensing Enterprises* é relacionado à internet das coisas em três diferentes perspectivas: Boza et al. (2016) desenvolvem um quadro conceitual para a aplicação dessa tecnologia em sistemas produtivos; Alarcón et al. (2016) avaliam suas vantagens e desvantagens no processo de planejamento da produção; e Miranda Júnior et al.

(2017) exploram suas aplicações na fase de implementação de projetos complexos de engenharia.

Os estudos de Castillo et al. (2012) e Savazzi e Barbosa (2016) exploram a temática da robótica. Os primeiros desenvolvem uma plataforma automatizada de experimentação, obtendo como resultado a possibilidade de pesquisadores e alunos realizarem atividades práticas de laboratório. Já o segundo trabalho consiste na avaliação dos efeitos em materiais compósitos (indústria aeroespacial) causados pela variação do ângulo de corte durante o processo de moagem realizado por robôs.

Frazzon et al. (2015) exploram o tema *big data* no contexto de sistemas ciberfísicos. A principal contribuição dos autores é a proposição de um modelo conceitual para a aplicação de técnicas de aquisição de informação em sistemas logísticos.

Lima et al. (2016) descrevem o caso do Laboratório de Engenharia de Sistemas de Produção da PUC-RS, onde foi desenvolvida uma fábrica de argamassa por meio da realidade virtual. Com base na “fábrica virtual”, os autores desenvolvem um sistema de custeio. Além disso, ressaltam em sua análise os benefícios do uso dessa tecnologia no ensino, entre eles, a maior motivação e interesse dos alunos.

Dois estudos não abordam tecnologias específicas da Indústria 4.0, e sim conceitos. Pereira et al. (2016) discutem como a interoperabilidade nos processos logísticos contribui para a competitividade das empresas. Para os autores, o entendimento e aplicação deste conceito, associado à Tecnologia de Informação, é fundamental para que uma empresa tome decisões acertadas e melhore sua performance logística. Por sua vez, tendo como pano de fundo o conceito de *smart city*, Pereira e Chwif (2017) abordam a questão da mobilidade urbana (veículos automotivos). Por meio de técnicas de simulação, os autores analisam três cenários para o caso da cidade de São Caetano do Sul, sugerindo medidas que maximizam a performance da situação estudada.

Por fim, Liao et al. (2018) realizam uma abrangente revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar e comparar as políticas públicas relacionadas à Indústria 4.0 mais influentes em diversos países: Alemanha, China, EUA, Holanda, Espanha, Malásia, França, Reino Unido, Suécia, Itália, Japão, Coreia do Sul, Taiwan, México, Canadá, Cingapura e Índia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse artigo buscou traçar um panorama dos estudos sobre Indústria 4.0 na perspectiva das áreas de conhecimento da EP no contexto nacional. A primeira questão proposta foi em relação à evolução das pesquisas sobre o tema. O levantamento dos trabalhos publicados nos anais do ENEGEP e do SIMPEP permitiram identificar um aumento de 384% em relação à média de publicações dos anos anteriores.

Questionou-se também quais as áreas da EP que mais têm sido relacionadas à Indústria 4.0. Identificou-se que quatro áreas – Gestão da Produção, Gestão do Conhecimento Organizacional, Gestão do Produto e Pesquisa Operacional – reúnem 71,2% dos artigos. Entre as 59 subáreas, destaca-se a de Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos e Distribuição com 17 trabalhos.

A terceira questão foi direcionada às tecnologias e às aplicações mais estudadas. Constatou-se que 63% dos estudos abordam as tecnologias de manufatura aditiva, IA ou internet das coisas. Esta última apresenta a maior tendência de crescimento em termos de interesse dos pesquisadores (no último ano houve aumento de 800% no número de publicações em relação à média de publicações dos anos anteriores). As aplicações na área de logística tiveram destaque, entre elas: medição de desempenho logístico, intralogística, logística urbana, logística humanitária e seleção de fornecedores.

Finalmente, foram sintetizados os objetivos e contribuições dos artigos publicados nos principais periódicos nacionais de EP. Nota-se uma gama de possibilidades de pesquisa. Por exemplo, considerando os parâmetros adotados nesta pesquisa, não foram encontrados artigos que explorem a computação em nuvem, a segurança cibernética e os novos materiais. É preciso considerar a hipótese de que tais estudos têm sido publicados em periódicos que não são específicos da EP – e, portanto, estão fora do escopo do presente estudo.

Esse trabalho atende à lacuna da literatura observada por Liao et al. (2017) referente a trabalhos que sistematizem o conhecimento sobre a Indústria 4.0. Assim, espera-se que esse artigo seja útil a todos os interessados em conhecer o progresso da pesquisa brasileira sobre o assunto: pesquisadores, estimulando a continuidade das pesquisas e o surgimento de novos projetos; e profissionais da área de EP, que vivenciam diariamente as transformações de ordem tecnológica, econômica e social decorrentes da Quarta Revolução Industrial.

6 REFERÊNCIAS

- ABEPRO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Periódicos de Engenharia de Produção**. 2014. Disponível em: <<https://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=841&ss=1&c=395>>. Acesso em: 27 jan. 2018.
- ABEPRO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Áreas e subáreas da EP**. 2017. Disponível em: <<https://www.abepro.org.br/enegep/2017/interna.asp?m=1410&c=1394&p=1345>>. Acesso em: 28 jan. 2018.
- ALARCÓN, Faustino; PEREZ, David; BOZA, Andrés. Using the Internet of Things in a production planning context. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 13, n. 1, p. 72-76, 2016.
- ANTONELLI, Gilberto; NEITZEL, Ivo. Aplicação de redes neurais artificiais na indústria de fios de algodão. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 11, n. 2, p. 1, 2016.
- BAIERLE, Ismael; FROZZA, Rejane; NARA, Elpídio; KIPPER, Liane. O ciclo da produção de inteligência como apoio à estratégia de tomada de decisão organizacional. **Produção Online**, v. 11, n. 4, p. 1086-1113, 2011.
- BENEŠOVÁ, Andrea; TUPA, Jiří. Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 2195-2202, 2017.
- BERTO, Rosa; NAKANO, Davi. A produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. **Production**, v. 9, n. 2, p. 65-76, 2000.
- BOZA, Andrés; CORTES, Beatriz; ALEMANY, Maria; CUENCA, Llanos. Conceptual Framework for Applying Internet of Things in Production Systems for Sensing Enterprises. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 13, n. 1, p. 66-71, 2016.
- CASTILLO, Ricardo; ROSÁRIO, João; FERASOLI FILHO, Humberto; CALDEIRA, Marco. Apresentação de métodos para implementação de plataformas colaborativas de Sistemas Automatizados de Produção. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 7, n. 2, p. 81, 2012.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016. Disponível em: <<http://www.pedbrasil.org.br/ped/artigos/079F8BA3E7E5281B.0%20no%20Brasil.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2018.
- DURÃO, Luiz; CARVALHO, Marly; ZANCUL, Eduardo. Industrie 4.0: Formação de Redes de Projeto em Manufatura Distribuída. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 12, n. 3, p. 131, 2017.
- FERREIRA, Ricardo; SASSI, Renato; AFFONSO, Carlos. Aplicação de uma rede neuro Fuzzy para a previsão do comportamento do tráfego veicular urbano na região metropolitana da cidade de São Paulo. **Exacta**, v. 9, n. 3, 2011.
- FRAZZON, Enzo; DUTRA, Moisés; VIANNA, William. Big data applied to cyber-physical logistic systems: conceptual model and perspectives. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 12, n. 2, p. 330-337, 2015.
- GENTNER, Stephan. Industry 4.0: Reality, Future or just Science Fiction? How to Convince Today's Management to Invest in Tomorrow's Future. **CHIMIA International Journal for Chemistry**, v. 70, n. 9, p. 628-633, 2016.
- GIORDANO, Caio; ZANCUL, Eduardo; RODRIGUES, Vinícius. Análise dos custos da produção por manufatura aditiva em comparação a métodos convencionais. **Produção Online**, v. 16, n. 2, p. 499-523, 2016.
- KUBINGER, Wilfried; SOMMER, Roland. Fourth industrial revolution-impact of digitalization and Internet on the industrial location. **Elektrotechnik und Informationstechnik**, v. 133, n. 7, p. 330-333, 2016.
- LASI, Heiner; FETTKE, Peter; KEMPER, Hans-Georg; FELD, Thomas; HOFFMAN, Michael. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.
- LIAO, Yongxin; DESCHAMPS, Fernando; LOURES, Eduardo; RAMOS, Luiz. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.
- LIAO, Yongxin; LOURES, Eduardo; DESCHAMPS, Fernando; BREZINSKI, Guilherme; VENÂNCIO, André. The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. **Production**, v. 28, 2018.
- LIMA, Gabriel; SOUZA, Joana; ARAÚJO, Rafael; ETGES, Ana. Estruturação de um sistema de custeio baseado no método da UEP aplicada a uma fábrica em realidade virtual. **Produto & Produção**, v. 17, n. 1, p. 32-50, 2016.

- LONGO, Francesco; NICOLETTI, Letizia; PADOVANO, Antonio. Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. **Computers & Industrial Engineering**, v. 113, p. 144-159, 2017.
- MAN, Johannes; STRANDHAGEN, Jan. An Industry 4.0 research agenda for sustainable business models. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 721-726.
- MANÇANARES, Cauê; ZANCUL, Eduardo; CAUCHICK MIGUEL, Paulo. Sustainable manufacturing strategies: a literature review on additive manufacturing approach. **Product**, v. 13, n. 1, 2015.
- MIRANDA JÚNIOR, Hamilton; BEZERRA, Nelson; BEZERRA, Marlene; FARIAS FILHO, José. The internet of things sensors technologies and their applications for complex engineering projects: a digital construction site framework. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 14, n. 4, p. 567-576, 2017.
- MORRAR, Rabeh; ARMAN, Husam; MOUSA, Saeed. The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective. **Technology Innovation Management Review**, v. 7, n. 11, p. 12-20, 2017.
- MOTYL, Barbara et al. How will Change the Future Engineers' Skills in the Industry 4.0 Framework? A Questionnaire Survey. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1501-1509, 2017.
- OESTERREICH, Thuy; TEUTEBERG, Frank. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, v. 83, p. 121-139, 2016.
- PEREIRA, Elizangela; SALUM, Maria; RODRIGUEZ, Carlos. Organizational interoperability in support of competitiveness. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 13, n. 1, p. 58-65, 2016.
- PEREIRA, Wilson; CHWIF, Leonardo. Applying the smart city philosophy in Brazil for improving urban traffic condition by agent-based simulation. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 14, n. 3, p. 381-387, 2017.
- PFOHL, Hans-Christian; YAHSI, Burak; KURNAZ, Tamer. Concept and Diffusion-Factors of Industry 4.0 in the Supply Chain. In: **Dynamics in Logistics**. Springer International Publishing, 2017. p. 381-390.
- PORTHUN, Renato; NAVEIRO, Ricardo; DUARTE, Francisco. Boundary objects in offshore platform design: the connections between individual and collective dimensions. **Product**, v. 9, n. 2, 2011.
- QIN, Jian; LIU, Ying; GROSVENOR, Roger. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 173-178, 2016.
- ROBLEK, Vasja; MEŠKO, Maja; KRAPEŽ, Alojz. A Complex View of Industry 4.0. **SAGE Open**, v. 6, n. 2, p. 1-11, 2016.
- RODRIGUES, Vinícius; ZANCUL, Eduardo; MANÇANARES, Cauê; GIORDANO, Caio; SALERNO, Mário. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 12, n. 3, p. 1, 2017.
- RUBMANN, M. et al. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. The Boston Consulting Group: BCG, 2015.
- SACKEY, Samuel; BESTER, Andre. Industrial engineering curriculum in Industry 4.0 in a South African context. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 27, n. 4, p. 101-114, 2016.
- SACKEY, Samuel; BESTER, Andre; ADAMS, Dennit. Industry 4.0 learning factory didactic design parameters for industrial engineering education in South Africa. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 28, n. 1, p. 114-124, 2017.
- SANTOS, Maribel et al. A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy. **International Journal of Information Management**, v. 37, n. 6, p. 750-760, 2017.
- SAVAZZIA, José; BARBOSA, Gustavo. Influence of cutting tool's angle on milling of composite materials performed by robots. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 13, n. 2, p. 226-231, 2016.
- SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016. 159 p.
- SIMPEP – SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Áreas temáticas**. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/fast_track.php>. Acesso em: 28 jan. 2018.

SOUZA, Flavio; SASSI, Renato. Classificação de portfólio de créditos não-performados utilizando redes neurais artificiais Multilayer Perceptron. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 9, n. 1, p. 27, 2014.

STOCK, Tim; SELIGER, Günther. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 40, p. 536-541, 2016.

THOMANN, Guillaume; COTON, Justine; PINTO, Marcel; VEYTIZOU, Julien; VILLENEUVE, François. How 3D printing technologies can contribute into an iterative design process? Case study to hit a drum for Disabled Children. **Production**, v. 27, p. 1-14, 2017.

TROMPISCH, Paul. The implications of Industry 4.0 on the future of work. **Elektrotechnik und Informationstechnik**, v. 134, n. 7, p. 370-373, 2017.

WANG, Shiyong et al. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. **Computer Networks**, v. 101, p. 158-168, 2016.

WEISS, Astrid; HUBER, Aandreas; MINICHBERGER, Jürgen; IKEDA, Markus. First Application of Robot Teaching in an Existing Industry 4.0 Environment: Does It Really Work? **Societies**, v. 6, n. 3, p. 20, 2016.

ZAWADZKI, Przemysław; ŻYWICKI, Krzysztof. 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.