

Impactos da Indústria 4.0 em sustentabilidade: uma revisão da literatura

Marcos Vinícios Schules (UFPR) marcos.schules@gmail.com

Marcelo Gechele Cleto (UFPR) mgecleto@ufpr.br

Resumo:

Desde o século XVIII a indústria passou por três revoluções, sendo a primeira caracterizada pela introdução da máquina a vapor; a segunda marcada pelos conceitos de produção em massa e aumento de produtividade e a terceira com o emprego da automação no setor industrial. Atualmente está iniciando a chamada quarta revolução industrial, denominada Indústria 4.0, integrando os objetos físicos com a tecnologia da informação e comunicação, criando assim as fábricas inteligentes. Com a atividade industrial em constante evolução, o objetivo inicial era produzir em grande escala, sem considerar que os recursos naturais são limitados. Foi no ano de 1987 que surge pela primeira vez o termo desenvolvimento sustentável na preocupação de usar os recursos de forma racional para garantir a sobrevivência das futuras gerações. Este trabalho tem por objetivo, por meio de uma revisão da literatura, identificar quais são os principais impactos que a Indústria 4.0 terá sobre os pilares econômico, ambiental e social da sustentabilidade. Como resultado, foram encontrados 42 possíveis impactos esperados em sustentabilidade com a implantação da Indústria 4.0.

Palavras chave: Indicadores de Sustentabilidade, Manufatura Sustentável, Indústria 4.0.

Impacts of Industry 4.0 on sustainability: a literature review

Abstract

Since the eighteenth century the industry has undergone three revolutions, the first characterized by the introduction of the steam engine; the second marked by the concepts of mass production and productivity increase, and the third with the use of automation in the industrial sector. It is currently initiating the so-called fourth industrial revolution, Industry 4.0, integrating physical objects with information and communication technology, thus creating intelligent factories. With the industrial activity in constant evolution, the initial objective was to produce in large scale, without considering that the natural resources are limited. It was in 1987 that the term sustainable development arose for the first time in the concern to use resources in a rational way to guarantee the survival of future generations. This paper aims to identify the main impacts that Industry 4.0 will have on the economic, environmental and social sustainability pillars, through a literature review. As a result, 42 possible impacts expected in sustainability were found with the implementation of Industry 4.0.

Key-words: Sustainability Indicators, Sustainable Manufacturing, Industry 4.0.

1. Introdução

O termo desenvolvimento sustentável teve sua primeira definição formal no ano de 1987, na chamada Comissão de Brundtland. No documento *Our common future*, o termo foi definido como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades (WCED, 1987).

Mais tarde, em 1994, John Elkington estabelece um novo conceito de desenvolvimento sustentável, o chamado *Triple Bottom Line* (TBL), incorporando os valores sociais e ambientais às medidas econômicas de uma corporação, formando assim os três pilares da sustentabilidade. (SILVA, 2012; GARETTI & TAISCH, 2012).

Em 2011 surge o conceito de manufatura sustentável. Conforme a definição do Departamento de Comércio dos Estados Unidos, é a criação de produtos manufaturados através de processos que tenham mínimo impacto negativo ao meio ambiente, conservem energia e recursos naturais, sejam seguros para os empregados e comunidades, e economicamente viáveis (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, 2011).

O grande desafio da manufatura sustentável é como implementar processos e criar produtos que não degradem o meio ambiente, tragam benefícios para a sociedade como um todo e sejam viáveis economicamente. De acordo com Jovane *et al.* (2008) é a tecnologia que possibilita a transformação dos recursos naturais em produtos para atender as necessidades humanas, considerando assim a tecnologia como um quarto pilar da sustentabilidade.

Com o desenvolvimento da tecnologia e seu importante papel dentro das organizações, um novo conceito foi introduzido pelo governo alemão, no ano de 2011, a chamada Indústria 4.0, marcando assim o início de uma Quarta Revolução Industrial (QIN *et al.*, 2016; HERMANN *et al.*, 2016; ZHOU *et al.*, 2015). O conceito de Indústria 4.0 é um passo a frente no sentido de criar um modelo industrial mais sustentável, principalmente na dimensão ambiental da sustentabilidade, com uso eficiente dos recursos como matéria-prima, energia e água. A Indústria 4.0 é também uma oportunidade na criação de valor nas três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental (STOCK & SELIGER, 2016).

As empresas de manufatura ao redor do mundo estão enfrentando vários desafios devidos aos recentes avanços em questões ambientais, econômicas, sociais e tecnológicas (SCHUMACHER *et al.*, 2016). Diante deste cenário, este trabalho, por meio de uma revisão da literatura, busca identificar quais são os principais impactos que a Indústria 4.0 terá sobre os pilares econômico, ambiental e social da sustentabilidade.

2. Referencial Teórico

2.1 Sustentabilidade: Indicadores e Modelos de Avaliação

O sucesso de um negócio não pode ser medido apenas por indicadores financeiros e econômicos. Sendo assim, é necessário a definição de um grupo de indicadores para se ter uma visão holística de sustentabilidade (TAN *et al.*, 2015). Combinando indicadores das dimensões ambiental, econômica e social e avaliando esses indicadores de forma integrada é possível medir a sustentabilidade em uma escala muito maior do que com indicadores individuais. (JOUNG *et al.*, 2012).

Várias organizações internacionais e nacionais tem buscado definir grupos de indicadores e modelos para avaliar a sustentabilidade. As principais organizações estão relacionadas no Quadro 1.

MODELOS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE		Trabalhos
1	Global Report Initiative (GRI)	Labuschagne <i>et al.</i> (2005); Feng & Joungh (2009); Singh <i>et al.</i> (2012); Joungh <i>et al.</i> (2012); Chen <i>et al.</i> (2013); Zuanazzi <i>et al.</i> (2016)
2	Barometer of Sustainability	Chen <i>et al.</i> (2013)
3	Composite Sustainable Development Index	Chen <i>et al.</i> (2013)

4	Coral	Zuanazzi <i>et al.</i> (2016)
5	Dow Jones Sustainability Index (DJSI)	Feng & Joung (2009); Feng <i>et al.</i> (2010); Joung <i>et al.</i> (2012); Chen <i>et al.</i> (2013)
6	Environmental Performance Index (EPI)	Joung <i>et al.</i> (2012); Feng & Joung (2009); Tan <i>et al.</i> (2015)
7	Environmental Pressure Indicators for the European Union (EPI-EU)	Feng & Joung (2009); Feng <i>et al.</i> (2010); Joung <i>et al.</i> (2012);
8	Environmental Sustainability Indicators	Feng & Joung (2009); Joung <i>et al.</i> (2012)
9	ETHOS	Zuanazzi <i>et al.</i> (2016)
10	ETHOS-SEBRAE	Zuanazzi <i>et al.</i> (2016)
11	European Environmental Agency Core Set of Indicators (EEA-CSI)	Joung <i>et al.</i> (2012)
12	Ford Product Sustainability Index	Feng & Joung (2009); Feng <i>et al.</i> (2010); Joung <i>et al.</i> (2012); Chen <i>et al.</i> (2013)
13	GM Metrics for Sustainable Manufacturing	Feng & Joung (2009); Feng <i>et al.</i> (2010); Chen <i>et al.</i> (2013); Zuanazzi <i>et al.</i> (2016)
14	Icheme Sustainability Metrics	Labuschagne <i>et al.</i> (2005); Singh <i>et al.</i> (2012); Chen <i>et al.</i> (2013); Zuanazzi <i>et al.</i> (2016)
15	Indicator database	Feng & Joung (2009)
16	INMETRO	Zuanazzi <i>et al.</i> (2016)
17	ISO 14031 Environmental Performance Evaluation	Feng & Joung (2009); Joung <i>et al.</i> (2012); Tan <i>et al.</i> (2015)
18	ITT Flygt Sustainability Index	Chen <i>et al.</i> (2013)
19	OECD Sustainable Manufacturing Toolkit	Feng & Joung (2009); Feng <i>et al.</i> (2010); Joung <i>et al.</i> (2012); Tan <i>et al.</i> (2015)
20	Rapid Basin-wide Hydropower Sustainability Assessment Tool	Chen <i>et al.</i> (2013)
21	Sustainability Assessment in Mining and Minerals Industry	Chen <i>et al.</i> (2013)
22	Sustainable Development Framework (SDF)	Chen <i>et al.</i> (2013)
23	Sustainable Manufacturing Indicator Repository (SMIR)	Joung <i>et al.</i> (2012), Tan <i>et al.</i> (2015)
24	United Nations Commission on Sustainable Development Indicators (UNCSD)	Labuschagne <i>et al.</i> (2005); Feng & Joung (2009); Feng <i>et al.</i> (2010); Singh <i>et al.</i> (2012); Joung <i>et al.</i> (2012)

Fonte: Os autores (2017)

Quadro 1 – Modelos de avaliação de sustentabilidade

Diante da quantidade de modelos de avaliação de sustentabilidade e de sua complexidade, definir os indicadores relevantes para cada dimensão da sustentabilidade e entender como eles se conectam com o objetivo de alcançar um processo sustentável é um grande desafio das organizações (HELLENO *et al.*, 2016).

O trabalho de Veleza & Ellenbecker (2001) apresenta um conjunto de 22 indicadores, divididos em seis aspectos: uso de energia e material, ambiente natural, justiça social e desenvolvimento da comunidade, desempenho econômico, empregados e produtos. Com base em doze modelos de avaliação de sustentabilidade e em mais de cem artigos, Chen *et al.* (2014) propõe um modelo de 133 indicadores, aplicado para pequenas e médias empresas. As principais características do modelo são: avaliação rápida, aplicação no nível de produção, aplicabilidade genérica e visão holística de sustentabilidade.

Jasinski *et al.* (2016), por meio de uma revisão da literatura, desenvolve um modelo de avaliação de sustentabilidade com base em 26 critérios, separados em quatro categorias: impacto econômico, ambiental, recursos e social. O modelo é avaliado por 50 especialistas

dos Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, Suécia e Itália e sua aplicação tem foco na indústria automotiva.

A lógica *fuzzy* é usada como método no trabalho de Singh *et al.* (2016) para identificar os indicadores mais relevantes de sustentabilidade, aplicadas em pequenas e médias empresas na Malásia, com base nos modelos do GRI, ISO 14031, Dow Jones Sustainability Indexes e OECD Sustainable Manufacturing Toolkit. O trabalho de Winroth *et al.* (2016) tem como objetivo identificar um conjunto de indicadores que tenham como principal foco a sustentabilidade dentro das organizações e contribuir na tomada de decisão dos gerentes de produção. Um total de 52 indicadores é encontrado na revisão da literatura, sendo que 47 deles se mostram relevantes para avaliação da sustentabilidade.

2.2 Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 apresenta diferentes definições, sendo algumas delas apresentadas a seguir:

- a) Integração de máquinas e dispositivos físicos complexos com sensores e *softwares*, usados para prever, controlar e planejar melhores resultados empresariais e sociais (SHAFIQ *et al.*, 2015);
- b) Uma revolução baseada na aplicação de tecnologias avançadas no nível de produção, trazendo novos valores e serviços para os clientes e para a própria organização. É capaz também de aumentar a flexibilidade e qualidade dos sistemas produtivos para preencher a demanda por novos e inovadores modelos de negócios e tornar os serviços mais ágeis (KHAN & TUROWSKI, 2016).

A Indústria 4.0 possui características distintas, sendo as principais delas apresentadas a seguir:

- a) Integração Horizontal: se refere à integração de toda a cadeia de fornecedores, onde as informações e dados estão disponíveis para toda a cadeia, possibilitando uma cadeia de valor totalmente automatizada (GILCHRIST, 2016);
- b) Integração Vertical: uma organização é formada por vários sistemas físicos e de informação, como atuadores e sensores, controles, gerenciamento da produção, manufatura e planejamento corporativo. A integração dos sensores e atuadores em diferentes níveis, até chegar o nível de planejamento dos recursos (ERP) é denominada integração vertical (WANG *et al.*, 2015);
- c) Interoperabilidade: é a capacidade de todos os componentes envolvidos no sistema estarem conectados, se comunicarem e operarem juntos via Internet das Coisas (IOT), incluindo pessoas, fábricas inteligentes e tecnologia (GILCHRIST, 2016);
- d) Virtualização: é a capacidade que os sistemas ciber-físicos possuem para monitorar os processos e máquinas dentro de uma empresa. Os dados obtidos pelos sensores estão ligados a modelos de plantas virtuais e de simulação, criando assim uma cópia do mundo físico (HERMANN *et al.*, 2016);
- e) Descentralização: a crescente demanda por produtos individualizados dificulta o controle dos sistemas de forma centralizada, assim, com base nos conceitos da Indústria 4.0, os diferentes sistemas dentro das organizações são capazes de tomar decisões de forma autônoma (HERMANN *et al.*, 2016);
- f) Modularidade: são linhas de produção flexíveis e individualizadas (modular), onde a substituição, expansão ou a implantação de melhorias podem ser realizadas sem afetar o sistema produtivo como um todo (GILCHRIST, 2016);

g) Capacidade em tempo real: os dados e informações são coletados e analisados em tempo real (SHAFIQ *et al.*, 2015);

h) Orientação para serviço: além de fornecer produtos, a Indústria 4.0 tem potencial para criar novos serviços através da internet dos serviços (IOS), os quais podem beneficiar tanto o ambiente interno como o ambiente externo à organização (GILCHRIST, 2016).

Conforme Arena *et al.* (2009) não é possível encontrar soluções reais para a questão da sustentabilidade sem considerar a tecnologia como parte integral do problema. Novas tecnologias emergem com o conceito de Indústria 4.0, as quais são apresentadas na Figura 1.



Figura 1 – Tecnologias da Indústria 4.0 (Fonte: Adaptado de BCG 2015)

3. Metodologia

Para o desenvolvimento deste artigo o modelo utilizado para realizar a revisão da literatura foi o proposto por Gohr *et al.* (2013) conforme ilustra a Figura 2.



Figura 2 – Etapas da revisão da literatura (Fonte: Os autores 2017)

Definição da pergunta de pesquisa: como primeiro passo ao iniciar uma revisão sistemática, é necessário definir o problema, o qual deve ser formulado na forma de pergunta, ser claro e preciso, ser empírico, suscetível de solução e delimitado a uma dimensão viável (CONFORTO *et al.*, 2011). A pergunta de pesquisa formulada para este artigo foi: Quais os principais impactos esperados em sustentabilidade com a implantação das tecnologias da Indústria 4.0?

Definição das palavras-chave e combinações: neste passo são definidas as palavras-chave que serão utilizadas como critério de busca na base de dados. Essas palavras servem como identificadores e resumem os principais assuntos sobre o tema que se deseja pesquisar (GOHR *et al.*, 2013). Para este trabalho as palavras-chave utilizadas e suas combinações estão ilustradas no Quadro 2.

Industry 4.0	OR	Industrie 4.0	AND	Sustainability
Industry 4.0	OR	Industrie 4.0	AND	Triple Bottom Line
Industry 4.0	OR	Industrie 4.0	AND	Sustainable Manufacturing
Industry 4.0	OR	Industrie 4.0	AND	Environmental Indicator
Industry 4.0	OR	Industrie 4.0	AND	Economic Indicator
Industry 4.0	OR	Industrie 4.0	AND	Social Indicator

Fonte: Os autores (2017)

Quadro 2 – Palavras-chave e combinações

Seleção da base de dados e delimitação do período de publicação dos artigos: definido o critério de busca, o passo seguinte é selecionar a base de dados para realizar a pesquisa. Neste trabalho optou-se por utilizar a *Web of Science* e a *Scopus*. Quanto ao período de tempo de publicação dos artigos, ficou delimitado o período de 2011 até 2017.

Seleção e Análise dos artigos: para a seleção dos artigos, dois critérios foram considerados, sendo o primeiro a seleção dos artigos a partir da leitura dos títulos e o segundo, a leitura dos resumos dos artigos para verificar os quais estavam de acordo com o tema pesquisado. Com os artigos selecionados, foi possível identificar os principais impactos que a Indústria 4.0 tem sobre os três pilares da sustentabilidade.

4. Análise e Discussão dos Resultados

Com a revisão da literatura foram identificados 55 trabalhos que relacionam a Indústria 4.0 com os possíveis impactos em sustentabilidade, conforme ilustra a Figura 3.

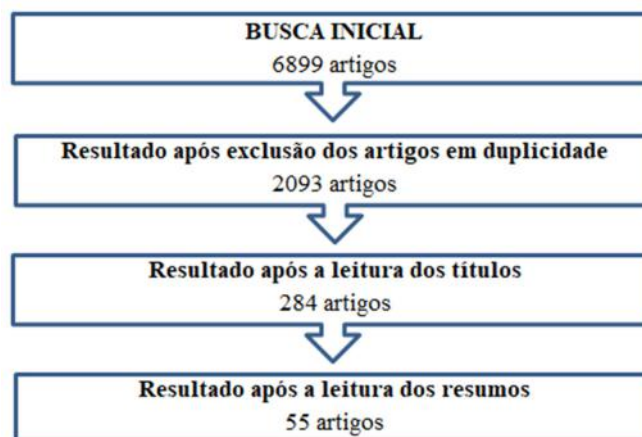


Figura 3 – Resultado da revisão da literatura (Fonte: Os autores 2017)

Para complementar a revisão da literatura, foram adicionados cinco estudos sobre a Indústria 4.0 que trazem contribuições para o tema em estudo, sendo eles: Acatech (2013), Capgemini (2014), BCG (2015), ITA (2015) e PWC (2016). O Anexo A apresenta a relação de todos os trabalhos selecionados na revisão da literatura.

Para atingir o objetivo do estudo, buscou-se nos trabalhos identificar os impactos que a Indústria 4.0 poderia ter sobre os pilares social, ambiental e econômico da sustentabilidade. Sendo assim, foram identificados ao todo 42 possíveis impactos da indústria 4.0 sobre a sustentabilidade dentro de uma organização.

No pilar social da sustentabilidade alguns possíveis impactos da Indústria 4.0 são: condições de trabalho menos exigente fisicamente, maior inclusão de pessoas com algum tipo de deficiência ou idade avançada, maior qualificação dos empregados, entre outras. A Figura 4 relaciona 19 possíveis impactos da Indústria 4.0 sobre o pilar social da sustentabilidade identificados na literatura.

SOCIAL	1	Maior número de empregados na área de serviços e Pesquisa e Desenvolvimento
	2	Trabalhadores mais qualificados e novas profissões
	3	Condições de trabalho melhores, com maior satisfação e menos estressante
	4	Diminuição no número de trabalhadores que executam tarefas repetitivas e manuais
	5	Maior autonomia / flexibilidade (balanço entre trabalho e vida social)
	6	Amenizar a falta de trabalhadores qualificados
	7	Vida profissional prolongada
	8	Menor hierarquização dentro das empresas
	9	Colaboração entre humanos e máquinas (robôs)
	10	Ambiente de trabalho móvel
	11	Novas e avançadas tarefas de planejamento
	12	Maior desenvolvimento da criatividade
	13	Aumento no desempenho dos trabalhadores
	14	Processo de tomada de decisões otimizado e de forma colaborativa entre pessoas e máquinas
	15	Maior transparência e previsibilidade nos processos
	16	Condições de trabalho menos exigentes fisicamente
	17	Melhores oportunidades profissionais para pessoas com algum tipo de deficiência e com idade mais avançada
	18	Maior proporção de idosos e mulheres nas indústrias
	19	Menor número de acidentes e incidentes de trabalho

Figura 4 – Impactos da I4.0 no pilar social da sustentabilidade (Fonte: Os autores 2017)

A Indústria 4.0 também terá impactos no pilar ambiental da sustentabilidade como: redução no consumo de energia, redução no consumo de matéria-prima, menores índices de poluição, entre outros. Os possíveis impactos da Indústria 4.0 no pilar ambiental da sustentabilidade está ilustrado na Figura 5.

AMBIENTAL	1	Redução no consumo de recursos / matéria-prima
	2	Melhor eficiência no uso da energia
	3	Menores índices de poluição
	4	Menor degradação ao meio ambiente
	5	Redução nas taxas de erro / retrabalho
	6	Redução nos custos de setup
	7	Minimização dos defeitos de qualidade
	8	Custo de produção independente do tamanho dos lotes
	9	Resposta mais rápida as demandas do mercado
	10	Menores prazos de entrega

Figura 5 – Impactos da I4.0 no pilar ambiental da sustentabilidade (Fonte: Os autores 2017)

No pilar econômico da sustentabilidade, são impactos da Indústria 4.0: aumento na produtividade e receitas da empresa, novas oportunidades para pequenas e médias empresas, cadeia de valor mais colaborativa, entre outros. A Figura 6 ilustra os possíveis impactos da Indústria 4.0 sobre o pilar econômico da sustentabilidade.

ECONÔMICO	1	Maior investimento em pesquisa e desenvolvimento
	2	Aumento na produtividade
	3	Aumento da competitividade e valor adicionado
	4	Aumento nas receitas da empresa
	5	Aumento na flexibilidade dos negócios
	6	Novas oportunidades para PMEs e startups
	7	Abertura de novos segmentos de clientes
	8	Lançamento de novos produtos e aumento de portfólio
	9	Pequenos lotes de produção (lote unitário)
	10	Cadeia de valor mais colaborativa
	11	Produção de acordo com os requisitos individuais dos clientes
	12	Aumento na satisfação dos clientes
	13	Maior integração do cliente na cadeia de valor

Figura 6 – Impactos da I4.0 no pilar econômico da sustentabilidade (Fonte: Os autores 2017)

O trabalho de Stock & Seliger (2016) tem uma grande contribuição para o tema, apresentando as oportunidades que a Indústria 4.0 pode trazer para tornar a manufatura mais sustentável. Para isso, as oportunidades são divididas em macro e micro perspectivas. Macro perspectivas está relacionado ao modelo de negócios e rede de criação de valor, como estes podem se tornar mais sustentáveis com a indústria 4.0. No que diz respeito às micro perspectivas, os autores apresentam as oportunidades para tornar a manufatura mais sustentável em relação aos equipamentos, pessoas, organização, processo e produto, demonstrando que a Indústria 4.0 pode ter uma forte relação com a sustentabilidade dentro de uma empresa.

Beier *et al.* (2017) apresenta um estudo de como a digitalização da indústria pode afetar a sustentabilidade em empresas de manufatura, comparando assim empresas de dois países com estrutura industrial bem diferentes: Alemanha, um país altamente industrializado e China, que ainda está em processo de industrialização. Os principais resultados demonstram que a Indústria 4.0 tem forte impacto na dimensão ambiental da sustentabilidade, no que diz respeito ao aumento na eficiência no uso dos recursos e as oportunidades para o uso de fontes de energia renováveis. Outro resultado da pesquisa está relacionado à dimensão social, visto que o aumento da automatização pode ocasionar uma diminuição no número de empregos, principalmente nos países em industrialização como a China.

5. Considerações Finais

A indústria é responsável pela produção de grande parte da riqueza do país, ao mesmo tempo é também um dos setores que mais contribui para o esgotamento dos recursos naturais. Com essa preocupação surge o conceito de desenvolvimento sustentável, de forma a conciliar a evolução da atividade industrial com o uso dos recursos de forma racional, garantindo o bem estar das pessoas tanto dentro como fora das organizações.

A busca por produzir o que o cliente deseja, no menor tempo possível e com o mínimo de desperdícios tem sido o objetivo das organizações e a Indústria 4.0 é mais uma estratégia que está sendo adotada para alcançar este objetivo. As características e tecnologias da Indústria 4.0 têm forte potencial para aumentar a produtividade, diminuir custos com manutenção, evitar acidentes de trabalho bem como reduzir o consumo de energia, além de outros benefícios que ela pode trazer.

Este trabalho, por meio de uma revisão da literatura, identificou 42 possíveis impactos que a Indústria 4.0 pode ter nas três dimensões da sustentabilidade. Com este trabalho buscou-se também ampliar o conhecimento e mostrar como a Indústria 4.0 pode impactar o futuro das organizações e até mesmo da sociedade como um todo.

Referências

- ACATECH – National Academy of Science and Engineering.** *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0.* Alemanha, 2013.
- ARENA, M.; CICERI, N. D.; TERZI, S.; BENGO, I.; AZZONE, G.; GARETTI, M.** *A state-of-the-art of industrial sustainability: definitions, tools and metrics.* International Journal of Product Lifecycle Management, v. 4, n. 1-3, p. 207-251, 2009.
- BCG – The Boston Consulting Group.** *Industry 4.0 – The future of productivity and growth in manufacturing industries.* 2015.
- BEIER, G., NIEHOFF, S., ZIEMS, T., XUE, B.** *Sustainability aspects of a digitalized industry—A comparative study from China and Germany.* International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology, v. 4, n. 2, p. 227-234, 2017.
- CAPGEMINI.** *Industry 4.0 - The Capgemini Consulting View: sharpening the Picture beyond the Hype.* 2014.
- CHEN, D.; THIEDE, S.; SCHUDELEIT, T.; HERRMANN, C.** *A holistic and rapid sustainability assessment tool for manufacturing SMEs.* CIRP Annals-Manufacturing Technology, v. 63, n. 1, p. 437-440, 2014.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L.** *Roteiro para revisão bibliográfica sistemática : aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos.* 8º CBGDP, Porto Alegre - RS, 2011.
- GARETTI, M.; TAISCH, M.** *Sustainable manufacturing: trends and research challenges.* Production Planning & Control, v. 23, n. 2-3, p. 83-104, 2012.
- GILCHRIST, A.** *Introducing Industry 4.0.* In: Industry 4.0. Apress, 2016. p. 195-215, 2016.
- GOHR, C. F.; SANTOS, L. C.; GONÇALVES, A. M. C.; PINTO, N. O.** *Um método para a revisão sistemática da literatura em pesquisas de Engenharia de Produção.* XXXIII Enegep, Salvador – BA, 2013.
- HELLENO, A. L.; DE MORAES, A. J. I.; SIMON, A. T.** *Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry.* Journal of Cleaner Production, 2016.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B.** *Design principles for industrie 4.0 scenarios.* In: System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on. IEEE, 2016. p. 3928-3937, 2016.
- ITA – Institute of Technology Assessment.** *Background Paper on the pilot project “Industry 4.0: Foresight & Technology Assessment on the social dimension of the next industrial revolution”.* Austrian Institute of Technology. Viena, 2015.
- JASIŃSKI, D.; MEREDITH, J.; KIRWAN, K.** *A comprehensive framework for automotive sustainability assessment.* Journal of Cleaner Production, v. 135, p. 1034-1044, 2016.

- JOUNG, C. B.; CARRELL, J.; SARKAR, P.; FENG, S. C.** *Categorization of indicators for sustainable manufacturing*. Ecological Indicators, v. 24, p. 148-157, 2013.
- JOVANE, F.; YOSHIKAWA, L.; ALTING, L. et al.** *The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, v. 57, n. 2, p. 641-659, 2008.
- KHAN, A.; TUROWSKI, K.** *A Survey of Current Challenges in Manufacturing Industry and Preparation for Industry 4.0*. In: Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry”(IITI’16). Springer International Publishing, p. 15-26, 2016.
- PWC.** *Indústria 4.0: Digitalização como vantagem competitiva no Brasil*. 2016.
- QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R.** *A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond*. Procedia CIRP, v. 52, p. 173-178, 2016.
- SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W.** *A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises*. Procedia CIRP, v. 52, p. 161-166, 2016.
- SHAFIQ, S. I.; SANIN, C.; SZCZERBICKI, E.; TORO, C.** *Virtual engineering object/virtual engineering process: a specialized form of cyber physical system for Industrie 4.0*. Procedia Computer Science, v. 60, p. 1146-1155, 2015.
- SILVA, O. F. M. da.** *Aplicação de conceitos da manufatura sustentável: pesquisa-ação em uma empresa gráfica*. 2012.
- SINGH, S.; OLUGU, E. U.; MUSA, S. N.** *Development of sustainable manufacturing performance evaluation expert system for small and medium enterprises*. Procedia CIRP, v. 40, p. 608-613, 2016.
- STOCK, T.; SELIGER, G.** *Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0*. Procedia CIRP, v. 40, p. 536-541, 2016.
- TAN, H. X.; YEO, Z.; NG, R.; TJANDRA, T. B.; SONG, B.** *A sustainability indicator framework for Singapore small and medium-sized manufacturing enterprises*. Procedia CIRP, v. 29, p. 132-137, 2015.
- U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE.** *Sustainable Manufacturing Initiative*. 2011. Disponível em: <https://www.oecd.org/sti/ind/45010349.pdf>. Acesso em: 17/07/2017.
- VELEVA, V.; ELLENBECKER, M.** *Indicators of sustainable production: framework and methodology*. Journal of cleaner production, v. 9, n. 6, p. 519-549, 2001.
- WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZHANG, C.** *Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook*. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2016.
- WCED** (World Commission on Environment and Development). *Our Common Future*. 1987.
- WINROTH, M.; ALMSTRÖM, P.; ANDERSSON, C.** *Sustainable production indicators at factory level*. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 27, n. 6, p. 842-873, 2016.
- ZHOU, K.; LIU, T.; ZHOU, L.** *Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges*. In: Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2015 12th International Conference on. IEEE, 2015. p. 2147-2152, 2015.

ANEXO A

	TÍTULO	AUTORES	ANO
1	Assessing sustainability benefits of cybermanufacturing systems	Song, Z., Moon, Y.	2017
2	Factories of the future: challenges and leading innovations in intelligent manufacturing	Jardim-Goncalves, R., Romero, D., Grilo, A.	2017
3	Global Footprint Design based on genetic algorithms - An "Industry 4.0" perspective	Schuh, G., Potente, T., Varandani, R., Schmitz, T.	2017
4	Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research	Lu, Y.	2017
5	Industry 4.0: Strategy for more sustainable industrial development in smes	Bakkari, M., Khatory, A.	2017
6	On sustainable production networks for Industry 4.0	Prause, G., Atari, S.	2017
7	On the sustainability of machining processes. Proposal for a unified framework through the triple bottom-line from an understanding review	Peralta Álvarez, M. E., Marcos Bárcena, M., Aguayo González, F.	2017
8	Operational Excellence towards Sustainable Development Goals through Industry 4.0	Quezada, L. E., Chiu, A. S. F., Gouvea da Costa, S. E., Tan, K. H.	2017
9	Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal	Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. F. R., Ramos, L. F. P.	2017
10	Society. Personality. Technologies: Social Paradoxes of Industry 4.0	Kamensky, E.	2017
11	Sustainability Aspects of a Digitalized Industry - A Comparative Study from China and Germany	Beier, G., Niehoff, S., Ziem, T., Xue, B.	2017
12	Sustainable supply chain management in the digitalisation era: The impact of Automated Guided Vehicles	Bechtis, D., Tsolakis, N., Vlachos, D., Iakovou, E.	2017
13	The intelligent industry of the future: A survey on emerging trends, research challenges and opportunities in Industry 4.0	Preuveneers, D., Ilie-Zudor, E.	2017
14	Toward industry 4.0: Efficient and sustainable manufacturing leveraging MAESTRI total efficiency framework	Ferrera, E., Rossini, R., Baptista, A. J., Evans, S., Hovest, G. G., Holgado, M.	2017
15	"Industrie 4.0" and smart manufacturing-a review of research issues and application examples	Thoben, K. D., Wiesner, S. A., Wuest, T.	2017
16	A Complex View of Industry 4.0	Roblek, V., Mesko, M., Krapez, A.	2016
17	A Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production Systems	Khan, A., Turowski, K.	2016
18	A review of sustainable machining engineering: optimization process through triple bottom line	Alvarez, M. E. P., Barcena, M. M., Gonzalez, F. A.	2016
19	Challenges and trends in manufacturing measurement technology - the "Industrie 4.0" concept	Imkamp, D., Berthold, J., Heizmann, M., Kniel, K., Manske, E., Peterek, M.	2016
20	Design principles for industrie 4.0 scenarios	Hermann, M., Pentek, T., Otto, B.	2016
21	Industrie 4.0 Implementations in the Automotive Industry	Segura-Velandia, D., Neal, A., Goodall, P.	2016
22	Industrie 4.0-From the perspective of applied research	Neugebauer, R., Hippmann, S., Leis, M.	2016
23	Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing	Cheng, G. J., Liu, L. T., Qiang, X. J., Liu, J.	2016
24	Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing	Sanders, A., Elangeswaran, C., Wulfsberg, J.	2016
25	Industry 4.0. The end lean management?	Martinez, F., Jirsak, P., Lorenc, M.	2016
26	Lean Intelligent Production System and Value Stream Practice	Wang, B., Zhao, J. Y., Wan, Z. G., Ma, J.	2016
27	New Paradigm of Industrial Development of Germany - Strategy "Industry 4.0"	Belov, V. B.	2016
28	Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0	Stock, T., Seliger, G.	2016
29	Social Internet of Industrial Things for Industrial and Manufacturing Assets	Li, H., Parlikad, A. K.	2016
30	Socio-economic aspects of Industry 4.0	Vacek, J.	2016
31	Statistical KPIs in HMI panels	Ragunathan, K., Ravindranathan, S., Ssm, S.	2016
32	Supply chain wide transformation of traditional industry to industry 4.0	Reddy, G. R. K., Singh, H., Hariharan, S.	2016
33	Sustainability in information and communication technologies' industry: Innovative ambidexterity and dynamic capabilities perspectives	Čirjevskis, A.	2016
34	The role of manufacturing in affecting the social dimension of sustainability	Sutherland, J. W., Richter, J. S., Hutchins, M. J., Dornfeld, D., Dzombak, R., Mangold, J.	2016
35	Waste reduction possibilities for manufacturing systems in the industry 4.0	Tamas, P., Illes, B., Dobos, P.	2016

	TÍTULO	AUTORES	ANO
36	Advanced manufacturing technology and new industrial revolution	Zhou, J., Yao, X.	2015
37	Digital manufacturing in smart manufacturing systems: Contribution, barriers, and future directions	Choi, S. S., Jun, C., Zhao, W. B., Noh, S. D.	2015
38	Industrie 4.0-technological approaches, use cases, and implementation	Anderl, R.	2015
39	Industrie 4.0: Enabling technologies	Wan, J., Cai, H., Zhou, K.	2015
40	Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges	Zhou, K. L., Liu, T. G., Zhou, L. F.	2015
41	Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies	Kolberg, D., Zuhlke, D.	2015
42	Sustainability in manufacturing through distributed manufacturing systems	Rauch, E., Dallinger, M., Dallasega, P.,	2015
43	Sustainable business models and structures for industry 4.0	Prause, G.	2015
44	The Analysis of Industry 4.0 and Lean Production	Huang, H., Li, W. X.	2015
45	The crippled bottom line - measuring and managing sustainability	Isaksson, R. B., Garvare, R., Johnson, M.	2015
46	Human-Machine-Interaction in the Industry 4.0 Era	Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M.,	2014
47	Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things	Shrouf, F., Ordieres, J., Miragliotta, G.	2014
48	A new approach to increasing energy efficiency by utilizing cyber-physical energy systems	Bornschlegel, M., Drechsel, M., Kreitlein, S., Bregulla, M., Franke, J.	2013
49	Industry 4.0-Fields of Action of the Digital Factory to Optimize Resource Efficiency in Production Processes	Kruckhans, B., Meier, H.	2013
50	Industry 4.0: A Best Practice Project of the Automotive Industry	Gruber, F. E.	2013
51	Industry 4.0: The Growing Together of real and virtual Worlds The Internet of Things drives the fourth industrial Revolution	Jopp, K.	2013
52	A low carbon industrial revolution? Insights and challenges from past technological and economic transformations	Pearson, P. J. G., Foxon, T. J.	2012
53	Key performance indicators for sustainable manufacturing evaluation in automotive companies	Amrina, E., Yusof, S. M.	2011
54	Sustainability science: A review, an analysis and some empirical lessons	Spangenberg, J. H.	2011
55	Sustainability transitions and the nature of technology	Paredis, E.	2011