

Convergências entre as práticas da Indústria 4.0 e os princípios da Economia Circular

THALES EDUARDO TAVARES DANTAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

GABRIELA HAMMES
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

EDUARDA DUTRA DE SOUZA

LUCILA MARIA DE SOUZA CAMPOS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

SEBASTIÃO ROBERTO SOARES

Convergências entre as práticas da Indústria 4.0 e os princípios da Economia Circular

PALAVRAS-CHAVE: Economia Circular, Indústria 4.0, Framework ReSOLVE

1 INTRODUÇÃO

As mudanças crescentes no mercado e a necessidade de intensificar os processos de globalização, levaram as indústrias a abandonar os métodos clássicos de produção e voltar-se para as novas exigências do mercado, como a utilização de tecnologias em todas as suas atividades (HOZDIC, 2015). Além disso, o cuidado com o meio ambiente é outra preocupação crescente. Os recursos naturais disponíveis não são suficientes para suportar o atual sistema econômico, que prevê a extração, transformação, uso e descarte dos materiais (LIEDER; RASHID, 2016). Desta forma, as empresas começaram a adotar práticas como a logística reversa e cadeias de ciclo fechado, onde ocorre a reutilização e reciclagem de materiais por meio do retorno dos produtos para a empresa.

Apenas a reutilização e reciclagem de alguns materiais não é suficiente. É necessário que se pense na redução de matérias primas virgens e na reutilização de materiais já no projeto dos produtos. Este pensamento deve estar presente em toda a empresa, como parte da estratégia do negócio. Assim, um novo modelo econômico vem se desenvolvendo nos últimos anos, chamado de Economia Circular (EC). Este novo modelo tem como objetivo reduzir ao máximo o desperdício e restaurar os danos causados ao meio ambiente na produção e ao longo de todo o ciclo de vida de um produto (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Já existem parques industriais ou redes de simbiose industrial onde ocorre o compartilhamento de energia, água, materiais e informações entre as empresas, com o intuito de diminuir o uso de recursos naturais não renováveis e a geração de resíduos e desperdícios (WINANS; KENDALL; DENG, 2017). A implementação da EC ainda se encontra em estágio inicial e está mais voltada para a reciclagem do que para a reutilização de materiais (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Desta forma, as empresas precisam adaptar seus negócios para se encaixar neste novo modelo (HEYES et al., 2018) e considerar o desenvolvimento tecnológico atual, que está suficientemente maduro para suportar a implementação da EC (LIEDER; RASHID, 2016).

Diversos países já propuseram regulamentações e políticas que preveem a conservação de energia e o desenvolvimento sustentável na transição para a Indústria 4.0 (LIN; SHYU; DING, 2017). Por meio das tecnologias adotadas na Indústria 4.0, como o compartilhamento de dados em tempo real, a alocação de recursos (materiais, água e energia) pode ser feita com maior eficiência (DE SOUZA JABBOUR et al., 2018b).

De Souza Jabbour et al. (2018a) analisaram a EC e a Indústria 4.0 separadamente em sua pesquisa e apresentam algumas tecnologias que podem ser aplicadas na gestão de operações sustentáveis dentro das oportunidades de negócios da EC presentes no framework ReSOLVE, desenvolvido pela Ellen MacArthur Foundation (EMF) (2015a). Este framework também é utilizado por Prendeville, Cherim e Bocken (2018) para selecionar ações presentes nas cidades para que estas sejam circulares.

Apesar disso, não foram encontrados estudos que abordam a sinergia entre a EC e a indústria 4.0. Desta forma, o objetivo desta pesquisa é identificar os pontos em comum entre estas duas áreas e apontar como uma empresa dentro dos parâmetros da Indústria 4.0 pode operar em uma

EC. Para isso as seis ações empresariais presentes no framework ReSOLVE foram utilizadas como base para o enquadramento das práticas da indústria 4.0 encontradas na leitura. Desta forma foi possível destacar como a tecnologia e ferramentas presentes na Indústria 4.0 podem tornar a economia mais circular. Após esta introdução o referencial teórico apresenta os conceitos da Indústria 4.0 e da EC. Em seguida o método de pesquisa é apresentado na seção 3. Os resultados são descritos na seção 4 e discutidos na seção 5. Por fim, o artigo encerra com a conclusão e as referências utilizadas.

2 PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVO

A EC tem se desenvolvido como uma escola de pensamento diretamente ligada ao exaurimento dos recursos naturais, processos produtivos e distributivos, e ao desenvolvimento econômico regional, nacional ou internacional. O desenvolvimento de novas tecnologias de ponta, como a proposta retratada pela Indústria 4.0, apresenta novas oportunidades para o fechamento de ciclos produtivos e máxima extração do valor de recursos naturais. Assim, o estudo dos pontos de convergência destas duas temáticas se mostra de grande relevância.

A metodologia ReSOLVE, proposta por EMF (2015a) e apresentada no Quadro 1, foi utilizada como base para esta pesquisa. De forma prática, ela aborda práticas multisetoriais que reforçam e aceleram o desempenho de organizações por meio do aproveitamento de ativos físicos, prolongamento de sua vida útil e transição do uso de recursos não-renováveis para matrizes renováveis. Empresas e governos encontram no Framework ReSOLVE uma ferramenta para gerar estratégias circulares e iniciativas de crescimento (EMF, 2015a).

Quadro 1 - Framework ReSOLVE.

<i>Regenerate</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Transição para materiais e energia renovável • Recuperação, retenção e restauração da saúde de ecossistemas • Recuperação de recursos biológicos para a biosfera
<i>Share</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Compartilhamento de ativos e serviços • Reutilização / Materiais de “segunda-mão” • Prolongamento do ciclo de vida de produtos através da manutenção, design para durabilidade, atualização, etc.
<i>Optimise</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria do desempenho / eficiência de produtos • Remoção de resíduos na cadeia de produção e suprimentos • Utilização de tecnologias como Big Data, automação, sensoriamento remoto
<i>Loop</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Remanufatura de produtos e componentes • Reciclagem • Digestão anaeróbica • Extração produtos bioquímicos de resíduos orgânicos
<i>Virtualise</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Desmaterialização direta • Desmaterialização indireta

Exchange

- Substituição de materiais não renováveis antigos por materiais mais avançados
- Aplicação de novas tecnologias
- Escolha por produtos e serviços novos

Fonte: EMF (2015a).

Este estudo objetivo, por meio de uma pesquisa bibliográfica, buscar as principais práticas e atividades desenvolvidas em uma Indústria 4.0, para, então, enquadrá-las no framework ReSOLVE. Delimitou-se a pesquisa para os artigos que abordaram a aplicabilidade da Indústria 4.0, pois esta restrição está alinhada ao objetivo de identificar as práticas atuantes no mercado. A busca foi realizada na base de dados SCOPUS para a combinação das palavras-chave "*Industry 4.0*", "*Industrie 4.0*" e "*smart manufacturing*" com "*applicability*", "*enforceability*", "*implementation*", "*deployment*" e "*practice*". Além disso, delimitou-se em apenas artigos científicos, excluindo-se artigos de conferências, capítulos de livros e *reviews*. Essa pesquisa totalizou 252 publicações.

O processo de seleção do portfólio final foi feito por meio da triagem inicial a partir da leitura de títulos e resumos, onde selecionou-se aqueles que respondiam as seguintes perguntas: "Este artigo apresenta alguma prática da Indústria 4.0?" e "O artigo traz embasamento teórico sobre o conceito da Indústria 4.0?". Esta primeira seleção resultou em 87 artigos. Posterior, iniciou-se a busca dos documentos disponíveis na íntegra e a leitura dos mesmos, onde foi possível identificar as práticas e ferramentas utilizadas na indústria 4.0. O portfólio final da busca ficou com 39 artigos, onde foi possível selecionar as práticas, tecnologias e ferramentas utilizadas na Indústria 4.0 e o enquadramento das mesmas dentro das seis ações propostas pelo framework ReSOLVE.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O mercado moderno torna-se mais global e cada vez menos focado em uma região tendo que se desenvolver de forma rápida para manter-se competitivo. Devido a esse cenário, as empresas estão tendo que abandonar a produção industrial clássica, e graças ao progresso das conquistas tecnológicas modernas, como as redes de comunicação e a Internet, está se encaminhando a desenvolver e introduzir uma nova era focada na comunicação (HOZDIC, 2015). A base da quarta revolução industrial, segundo Rojko (2017), está com desenvolvimento das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), a automação inteligente com Cyber-Physical Systems (CPS) e Conectividade com Internet das Coisas (IoT). Esse movimento possui tecnologias que podem facilitar o caminho para a implementação dos princípios da EC (DE SOUZA JABBOUR et al, 2018a).

3.1 Indústria 4.0

O termo "Indústria 4.0" (no alemão *Indutrie 4.0*) teve início na Alemanha com o objetivo ser um projeto de estratégia baseado na alta tecnologia promovendo a informatização das fabricas alemã (RUDAS et. al, 2017). O objetivo da Indústria 4.0 é criar valor para cliente, envolvendo-os desde o início do processo (HOZDIC, 2015) por meio da conexão de pessoas, objetos e sistemas (DORST, 2016) de forma a mesclar o mundo virtual e o real de forma a ter todos os processos integrados gerando, assim, um sistema de informações em tempo real (HOZDIC,

2015). Segundo o relatório Implementation Strategy Industrie 4.0 (DORST, 2016) esse termo é resumido como:

[...]a próxima etapa na organização e controle de todo o fluxo de valor ao longo do ciclo de vida de um produto. Este ciclo é baseado em clientes cada vez mais individualizados desejos e varia desde a ideia, a ordem, desenvolvimento, produção e entrega ao cliente final por meio de reciclagem e serviços relacionados.

A essência da Industria 4.0 envolve a integração de sistemas cibernéticos na fabricação, no inglês *Cyber-Physical Systems* (CPS), com a logística e a Internet das Coisas, no inglês *Internet of Things* (IoT) (KAGERMANN, WAHLSTER, HELBIG, 2013). Essas indústrias buscam a integração horizontal do fluxo de dados entre parceiros, fornecedores e clientes, bem como a integração vertical nos quadros da organização, isto é, do desenvolvimento ao produto final (HOZDIC, 2015). Os processos provenientes desta evolução industrial possibilitam uma profunda integração e automatização das atividades fazendo que a tecnologia auxilie na comunicação, fabricação, controle e gerenciamento do ciclo de vida da produção (YUE et. al. 2015).

Essa abordagem baseia-se em quatro princípios: a disponibilidade e o uso da internet e IoT; integração de processos técnicos e de negócios da empresa; mapeamento digital e virtualização; e fábricas inteligentes (ROJKO, 2017). Já para Santos, Pierchnick e Cancigliari (2017), esses princípios são sustentados pelos pilares de aplicabilidade de: soluções inteligentes, inovações inteligentes, cadeia de suprimentos inteligente e fábricas inteligentes.

Na prática, as vantagens encontradas pela aplicabilidade dessa nova geração industrial é: (1) redução do custo operacional; (2) menor tempo de lançamento de novos produtos no mercado, (3) melhor responsividade do cliente, (4) permitindo uma produção em massa personalizada, (5) ambiente de trabalho mais flexível e amigável, e (5) uso mais eficiente dos recursos naturais e energia (ROJKO, 2017). Já para Hozdic (2015), os benefícios estão relacionados ao aumento da eficiência da produção em massa para obter economia de escala, oferecendo um alto nível de adaptação.

3.2 Economia Circular

As raízes do conceito Economia Circular (EC) datam do início do século 20, através da apresentação da circularidade como princípio lógico da economia pelo pesquisador alemão Wassily Leontief, em seu trabalho intitulado “*The Economy as Circular Flow*”, publicado em 1928. O tema tomou relevância global através das iniciativas promovidas pela EMF, organização internacional para o estabelecimento da EC (EMF, 2015c), com a publicação, em 2012, do relatório “*Towards circular economy: An economic and business rationale for na accelerated transition*”.

A EC descreve a ruptura dos paradigmas econômicos, apresentando uma melhor alternativa para o atual modelo de desenvolvimento econômico, baseado na lógica linear “*take, make, dipose*” (NESS, 2008). Por “circular”, entende-se uma economia que não tem nenhum efeito líquido no meio ambiente. Em vez disso, restaura-se qualquer dano causado na aquisição de recursos, garantindo menor desperdício de recursos no processo de produção e em toda a história de vida do produto (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). A mudança para um sistema circular exige inovações na área ambiental, no intuito fechar o ciclo de vida dos produtos, obter produtos valiosos para terceiros a partir de resíduos, e atender as necessidades

de resiliência ambiental, apesar das tendências em direção ao crescimento econômico (SCHEEL, 2016).

Em sua definição mais comum, EC é tida como um modelo econômico restaurativo e regenerativo por princípio. Seu objetivo é manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo, distinguindo entre ciclos técnicos e biológicos. Esse novo modelo econômico busca, em última instância, dissociar o desenvolvimento econômico global do consumo de recursos finitos. (EMF, 2015c).

O conceito de EC é de grande interesse para diferentes setores, uma vez que é visto como a operacionalização para a implementação do desenvolvimento sustentável pelo mercado (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Lieder e Rashid (2016), através de um estudo sistemático da literatura, apontaram que os três principais tópicos relacionados à EC estudados até o momento são Escassez de Recursos, Impactos Ambientais e Benefícios Econômicos, áreas que relacionam diretamente as atividades produtivas com as atuais problemáticas ambientais, e dialogam com temas antes abordados sobre a bandeira do desenvolvimento sustentável.

Por mais que a EC tenha recentemente se tornado um tópico emergente nos meios acadêmicos e governamentais, a sua disseminação é dificultada devido à grande quantidade de abordagens diferentes do campo (KALMYKOVA et al, 2017). Devido às várias definições, são encontrados na literatura diferentes princípios da EC (PREITO-SANDOVAL, 2018). McDowall et al (2017) argumentam que a EC apresenta um escopo amplo, que oferece potencial para a flexibilidade interpretativa, isto é, pode ser entendida ou aplicada de forma distinta em diferentes contextos, a fim de acomodar uma ampla gama de interesses políticos. Segundo Kirchherr et al. (2017), EC é um tema abrangente que tem sido muito discutido, o que comumente promove a distorção de conceitos e falta de consenso sobre sua definição. Frente a tal cenário de possível imprecisão conceitual, tais autores caracterizam EC através do estudo de 114 definições utilizadas em meios acadêmicos e institucionais, levantando a seguinte definição:

“Economia Circular é um sistema econômico que substitui o conceito de 'fim-de-vida' pela redução, reutilização, reciclagem, e recuperação de materiais nos processos de produção, distribuição e consumo. A Economia Circular opera nos níveis micro (produtos, empresas, consumidores), meso (eco industrial, parques industriais) e macro (cidades, regiões, nações), com o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável, simultaneamente proporcionando qualidade ambiental, prosperidade econômica e equidade social para o benefício das gerações atuais e futuras” (KIRCHHERR et al, 2017, p. 299)

Devido a sua abordagem multifacetária, que leva em conta os principais processos relacionados à EC, seus diferentes níveis de operação, e a relação entre este novo modelo econômico e o desenvolvimento sustentável, este estudo toma esta definição como base conceitual para este texto.

Vários frameworks para a EC foram desenvolvidos (PRENDEVILLE et al, 2018). O denominado *Butterfly Framework* (EMF, 2015c), desenvolvido e amplamente divulgado pela EMF, divide o fluxo de produtos e serviços em ciclos técnicos e biológicos. O *Cradle-to-Cradle Framework* (BRAUNGART & MCDONOUGH, 2009) foca em cinco critérios: qualidade material, reutilização, avaliação da energia requerida para produção, uso da água e responsabilidade social. O *Modèle de L'économie Circulaire* (INSTITUT EDDEC, 2018) dá enfoque ao repensar da extração de recursos e otimização de seu uso. Lieder & Rashid (2016)

desenvolveram um framework integrativo baseado na combinação entre ações *top-down* e *bottom-up* relacionadas à EC. No entanto, esses modelos são representações conceituais e simplistas dos fluxos de produtos e materiais (PRENDEVILLE et al, 2018). Com base em três princípios da EC, sendo eles a preservação e aumento do capital natural, otimização da produção de recursos e a promoção da eficácia do sistema, a EMF (2015b) descreve seis práticas fundamentais para o desenvolvimento de negócios e ações circulares concretas, formando a metodologia ReSOLVE – *Regenetare, Share, Optimise, Loop, Virtualise, Exchange*. Tal ferramenta descreve como a EC pode se manifestar em negócios, indústria, ou no governo (EMF, 2015a).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na prática, a Indústria 4.0 apresenta diversas práticas e ferramentas que auxiliam a sua aplicabilidade na indústria. O Quadro 2 apresenta um resumo dessas atividades encontradas na literatura.

Quadro 2 – Práticas e ferramentas da Indústria 4.0

Prática	Autores
Fabrica inteligente <i>(Smart Factory)</i>	Rojko (2017); Wan et al (2018), Xu et al(2017); Xu e Hua (2017); Yoon e Suh (2016); Mueller, Chen e Riedel (2017); Contretas, J. D., Garcia, J. I., Pastrana, J. D. (2017); Hofmann, E., Rüsç, M. (2017); Ito, Y. (2017); Gerlitz, L. (2015); Gerlitz, L. (2015); Davies, R., Coole, T., Smith, A. (2018); Ito, Y. (2017)
Sistemas Ciber-físicos <i>(CPS)</i>	Rojko (2017); Su et. al. (2017); Uhlmann et. al. (2017); Urbina (2017), Wan et al. (2017); Wan et al (2018); Xu e Hua (2017); Yan et al(2018); Yoon e Suh (2016); Yue et. al. (2015); Lee, Bagheri e Kao (2015); Zhu, Qiao e Cao (2017); Ito, Y. (2017); Mueller, Chen e Riedel (2017); Li, Wang e Wang (2017); Davies, R., Coole, T., Smith, A. (2018); Ahuett-Garza, H., Kurfess, T. (2018); Bauer, W. Hämmerle, M., Schlund, S., Vocke, C. (2015); Chen, Y. (2017); Contretas, J. D., Garcia, J. I., Pastrana, J. D. (2017); Hofmann, E., Rüsç, M. (2017); Knothe. Ullrich e Weinert (2017); Angione, G., Barbosa, J., Gosewehr, F., Leitão, P., Massa, D., Matos, J., Peres, R. S., Rocha, A. D., Wermann, J. (2017); Yue et. al. (2015); Lin et al. (2016); Gerlitz, L. (2015); Santos et al. (2017); Karre et al. (2017)
Internet das Coisas <i>(IoT)</i>	Rojko (2017); Su et. al. (2017); Strange e Zucchella (2017); Uhlmann et. al. (2017); Vijaykumar et al (2015); Wan et al. (2016); Zezulka et al (2016); Mueller, Chen e Riedel (2017); Li, Wang e Wang (2017); Davies, R., Coole, T., Smith, A. (2018); Ahuett-Garza, H., Kurfess, T. (2018); Angione, G., Barbosa, J., Gosewehr, F., Leitão, P., Massa, D., Matos, J., Peres, R. S., Rocha, A. D., Wermann, J. (2017); Bauer, W. Hämmerle, M., Schlund, S., Vocke, C. (2015); Chen, Y. (2017); Ito, Y. (2017); Contretas, J. D., Garcia, J. I., Pastrana, J. D. (2017); Gruzauskas, V., Baskutis, S., Navickas V. (2018); Hofmann, E., Rüsç, M. (2017); Gerlitz, L. (2015);

	Dombrowski, U., Richter, T., Krenkel, P. (2017); Ito, Y. (2017); Merkel et al. (2017)
Big Data	Rojko (2017); Karre et al. (2017); Su et. al. (2017); Strange e Zucchella (2017); Vijaykumar et al(2015); Wan et al. (2017); Xu e Hua (2017); Ito, Y. (2017); Yan et al(2018); Yue et. al. (2015); Zhu, Qiao e Cao (2017); Li, Wang e Wang (2017); Ahuett-Garza, H., Kurfess, T. (2018); Bauer, W. Hämmerle, M., Schlund, S., Vocke, C. (2015); Chen, Y. (2017); Gruzauskas, V., Baskutis, S., Navickas V. (2018); Santos et al. (2017); Davies, R., Coole, T., Smith, A. (2018); Gerlitz, L. (2015)
Cibersegurança (Cybersecurity)	Rojko (2017); Chen, Y. (2017)
Inovação Conectada do Ciclo de Vida (Connected Lifecycle Innovation)	Santos et al. (2017)
Manufatura Aditiva/Impressora 3D (Additive Manufacturing/3D Printing)	Santos et al. (2017); Strange e Zucchella (2017); Karre et al. (2017); Merkel et al. (2017); Chen, Y. (2017); Ahuett-Garza, H., Kurfess, T. (2018); Gerlitz, L. (2015)
Robótica (Robotics)	Santos et al. (2017); Strange e Zucchella (2017); Karre et al. (2017); Merkel et al. (2017); Ahuett-Garza, H., Kurfess, T. (2018); Chen, Y. (2017)
Computação em Nuvem (Cloud Computing)	Su et. al. (2017); Karre et al. (2017); Li, Wang e Wang (2017); Ito, Y.(2017); Beier, G. Niehoff, S., Xue, B. (2018); Rojko (2017), Santos et al. (2017); Mueller, Chen e Riedel (2017); Knothe. Ullrich e Weinert (2017)
Internet dos Serviços (IoS)	Zezulka et al (2016); Li, Wang e Wang (2017); Davies, R., Coole, T., Smith, A. (2018); Contretas, J. D., Garcia, J. I., Pastrana, J. D. (2017); Hofmann, E., Rüsçh, M. (2017); Ito, Y. (2017)

Fonte: Elaborado pelos autores.

As práticas e tecnologias utilizadas na Indústria 4.0 listadas no Quadro 2 podem auxiliar as empresas a se posicionarem dentro de umas das seis ações presentes no framework ReSOLVE proposto pela EMF (2015a). Desta forma, além de adotar práticas da Indústria 4.0 a empresa pode operar de forma a impulsionar uma economia mais circular, diminuindo a produção de resíduos sólidos, poluição e a energia utilizada no processo produtivo, bem como aumentando a eficiência da indústria através da maior retenção de valor nas cadeias produtivas. As análises das práticas da Indústria 4.0 frente às ações abordadas pelo framework ReSOLVE apresentadas neste estudo tem enfoque nas consequências diretas da aplicação das mesmas, não levando em conta possíveis inferências da relação da mesma em nichos industriais específicos.

As atividades presentes na Indústria 4.0 são diversas e podem ser resumidas como um termo coletivo para as tecnologias e conceitos das organizações da cadeia de valor (LI; WANG; WANG, 2017). Fábrica Inteligente é uma sinergia entre computação em nuvens, rede comunicação e os CPS (ITO, 2017). Essa prática contribui para maximização do desempenho do produto por meio da automação dos processos. Devido a isso, enquadra-se na categoria *Optimize* do ReVOLSE. Além de apresentar característica do grupo *Virtualise*, pois contribuiu para desmaterializar o processo por meio da utilização de compartilhamento por nuvem.

Os sistemas ciber-físicos, ou CPS, por sua vez, referem-se a um sistema com capacidade computacional capaz de interagir com o ser humano com intuito de expandir as capacidades do mundo físico da computação, comunicação e controle, transferindo, assim, o mundo real para o virtual (LI; WANG; WANG, 2017). Desta forma o CPS utiliza sensores espalhados pela fábrica e tecnologia da informação para capturar, armazenar e analisar as informações necessárias para o seu funcionamento, habilitando a identificação única de objetos através de abordagens de identificação como o RFID (*Radio-frequency Identification*) (LI; WANG; WANG, 2017). Isso possibilita uma melhora do desempenho, automação, direção remota e contribui para a otimização da produção. Deste modo, essa prática enquadra-se dentro da categoria *Optimize*. Segundo Santos et al. (2017) o CPS pode ser utilizado em Produtos Inteligentes que oferecem novos recursos e funções baseados na conectividade; e em Serviços Inteligentes que utilizam a tecnologia para a digitalização dos serviços de entrega. Assim, quando aplicado neste contexto, o CPS auxilia a empresa a se enquadrar na ação *Share* pois permite o compartilhamento de ativos e serviços.

A Internet das Coisas é uma prática que auxilia em interação entre "coisas" com outros componentes "inteligentes" com intuito de atingir um objetivo comum (LI; WANG; WANG, 2017). O termo IoT de forma reduzida caracteriza como uma prática inteligente que possam se conectar por meio da internet a outros sistemas. Desde modo, a IoT é caracterizada como *Optimize* por auxiliar na automação, aumento da eficiência e diminuindo o consumo de energia. Além de se enquadrar como *Virtualise* por incentivar e promover a desmaterialização. A Internet dos Serviços, por sua vez, se assemelha a IoT (HOFMANN; RUSCH, 2017), mas com um enfoque nos serviços. Busca integrar e promover a cooperação entre todos os parceiros do sistema, permitindo que os fornecedores ofereçam seus serviços por meio da Internet (LI; WANG; WANG, 2017). São serviços facilmente disponibilizados por meio de tecnologias (HOFMANN; RUSCH, 2017). Fazendo que IoS possua um enfoque maior na categoria *Virtualise* que a IoT, pois está voltada para desmaterialização indireta enquanto o IoT incentiva essa possibilidade. Na categoria *Optimize*, o IoS aparece apenas como impulsionador para melhoria do desempenho do produto/serviço.

O Big Data não é apenas um processo de armazenar uma enorme quantidade de dados em banco específico, mas permite analisar e descobrir padrões dos dados coletados (LI; WANG; WANG, 2017). Isto é, esse processo pode ser coletado em tempo real e auxilia na detecção preventiva de falhas (WAN et. al., 2017). Além disso, a *cloud computing*, ou computação em nuvem, armazena os dados da empresa em um ambiente virtual que pode ser acessado em qualquer local por meio da internet. Este ambiente pode armazenar diversas informações sobre os produtos, desde o seu projeto, status atual, identificação e testes (ROJKO, 2017). Esta prática também integra o cockpit, um sistema responsável pela integração flexível dos dados mestres da empresa, focalizando a integração humana com os sistemas inteligentes. Desta forma a manutenção inteligente se torna possível por meio do monitoramento e controle confiáveis de todos os processos e o acompanhamento do desempenho de cada funcionário realizado pelo cockpit (Mueller; Chen; Riedel, 2017; Knothe; Ullrich; Weinert, 2017). Assim como o Big Data, a *cloud computing* permite a melhoria do desempenho das linhas de produção por disponibilizar os dados dos produtos em processo em tempo real, além de digitalizar o armazenamento de dados, deixando de utilizar papel nesta função. Desta forma ela se enquadra nas ações de *Optimize* e *Virtualise*.

A utilização de tecnologia de rede e rede móvel para o armazenamento e compartilhamento de dados requer um sistema de segurança cibernético para proteção e privacidade das informações e dos sistemas de manufatura. Assim, a *cybersecurity*, ou segurança cibernética, é uma das prioridades das empresas dentro da Indústria 4.0 (CHEN, 2017). Desta forma, a *cybersecurity* se enquadra na ação de *Optimize* pois torna os sistemas de segurança de rede das empresas mais eficientes.

A Impressão 3D é uma técnica de Manufatura Aditiva que possibilita a fabricação uma ampla gama de estruturas e geometrias complexas a partir de dados de modelo tridimensionais (NGO, et al 2018). Embora seu emprego ainda não é adequado para a produção em massa (STRANGE; ZUCHELLA, 2017), a substituição de tecnologias atuais pela manufatura aditiva acarreta na minimização de resíduos provenientes do processo produtivo, manufatura de estruturas complexas, e possibilita a customização em massa (NGO et al, 2018). Portanto, a substituição das tecnologias comumente utilizadas por este novo ramo de técnicas produtivas demonstra grandes ganhos ambientais e na eficiência do sistema, uma vez promove forte redução do uso insumos de recursos energéticos nos processos de produção, o que diminui os custos do produto e mitiga as emissões de CO2 (GEBLER; UITERKAMP; VISSER, 2014). Assim sendo, tal prática da Indústria 4.0 se enquadra nas ações *Exchange*, apresentada no framework *ReSOLVE*.

A utilização da robótica como uma ferramenta da Indústria 4.0 deve-se ao controle das máquinas ser uma das chaves para tornar o processo inteligente (MULLER; XIAO-LIMuller, 2017). Isto é, a integração homem-robô (KARRE et al., 2017). Atualmente, os robôs industriais estão se tornando mais versáteis e capaz de realizar tarefas complexas e inteligentes interagindo com outras partes do sistema como IoT (STRANGE; ZUCHELLA, 2017). Desde modo, a robótica pode ser utilizada para otimizar o sistema de produção e produto (*Optimize*), na utilização de novas tecnologias (*Exchange*) para auxiliar trocas de materiais mais modernos.

A inovação conectada do ciclo de vida dos produtos (*Connected Lifecycle Innovation*) permite o gerenciamento e acompanhando do produto ao longo de todo o seu ciclo de vida por meio de aplicativos móveis (SANTOS et al., 2017). Desta forma, é possível acompanhar o produto desde a sua criação até a sua disposição final, reciclagem, remanufatura e/ou reutilização. Isso enquadra esta tecnologia na ação *Share* pois permite o prolongamento do ciclo de vida dos produtos e a sua manutenção; e na ação *Loop* por permitir a reciclagem e reutilização dos produtos em acompanhamento.

O Quadro 3 apresenta a distribuição dessas práticas dentro das seis ações do ReSOLVE. Isto é, a junção das ferramentas e práticas presentes no Quadro 2 com o as iniciativas do Quadro 1.

Quadro 3 – Práticas e ferramentas da Indústria 4.0 aplicadas nas ações do ReSOLVE

Regenerate	Share	Optimize	Loop	Virtualize	Exchange
	CPS	Smart Factory	Connected Lifecycle Innovation	Smart Factory	Robótica
	Connected Lifecycle Innovation	CPS		IoT	Manufatura Aditiva
		IoT		IoS	
		IoS		Big Data	
		Big Data		Cloud	
		Cybersecurity			
		Robótica			
		Cloud			

Fonte: Elaborado pelos autores.

Percebe-se que há uma concentração de práticas nas iniciativas *Optimize* com um total de 8 ações sendo que 50% dessas encontram-se também no *Virtualize*. Não houve incidência de práticas na iniciativa *Regenerate*. Ações relacionadas às esferas *Share* e *Exchange* apresentaram a mesma incidência, já *Loop* remete a somente uma prática relacionada à Indústria 4.0 aqui estudada.

De acordo com a literatura, o objetivo da indústria 4.0 é criar valor para o cliente por meio da junção entre o mundo virtual e o real (HOZDIC, 2015), que possibilita uma maior organização e controle de todo o fluxo de valor ao longo do ciclo de vida de um produto. Deste modo, é necessário o desenvolvimento de ferramentas e processos com o intuito de maximizar a satisfação do cliente e trazer valor em todas as etapas do ciclo de vida do produto. Assim, estas ferramentas podem auxiliar a Indústria 4.0 a se enquadrar na EC e, ao mesmo tempo em que se cria valor para os clientes por meio da tecnologia, se diminui os impactos ambientais gerados e o uso de matérias virgens, o que pode aumentar a satisfação dos *stakeholders*.

As tecnologias utilizadas na Indústria 4.0 auxiliam no compartilhamento e armazenamento de informações em tempo real ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos (YUE et. al. 2015), o que possibilita a inclusão de ações que se encaixam na EC. Assim, a indústria pode mudar seu estilo de consumo e de produção e se tornar mais circular por meio da implementação de inovações na área ambiental, no fechamento de ciclo dos seus produtos e do resgate de valor dos seus resíduos (SCHEEL, 2016).

A indústria pode resgatar informações sobre os materiais utilizados na sua confecção quando o mesmo retorna para a empresa por meio da logística reversa, por exemplo, e saber, com precisão, como desmontar e reutilizar estes materiais. Da mesma forma, estas informações permitem saber o volume de resíduos gerados para que estes sejam remanejados como matéria-prima para outra indústria ou tenham uma destinação final ambientalmente correta.

Ao acompanhar o ciclo de vida dos produtos é possível, também, diminuir o uso e o desperdício de recursos ao longo de todo o processo produtivo (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Assim, percebe-se que a aplicação de técnicas apresentadas pela Indústria 4.0 podem potencializar o fechamento de ciclos produtivos de diversos setores. O uso do CPS e do

armazenamento e compartilhamento de informações auxilia na gestão do ciclo de vida dos produtos e nas ações de *Loop* do ReSOLVE. Estas ferramentas não aparecem no Quadro 3 pois não estão presentes na reciclagem, remanufatura ou nas outras atividades presentes no *Loop*, mas auxiliam de forma indireta na sua realização.

A baixa aderência das práticas em relação à categoria *Loop* exemplifica o enfoque atual da Indústria 4.0 é direcionado à eficiência e otimização dos processo produtivos, visando os interesses financeiros das empresas e *stakeholders*. Entretanto, as diversas tecnologias aqui estudadas, quando aplicadas em contextos e finalidades específicas, detêm a capacidade de estimular o fechamento dos ciclos, havendo assim maior eficiência do processo produtivo, menor extração de recursos e uso energético, além do aumento da vida útil dos produtos e recursos já empregados.

Nota-se, a partir do Quadro 3, que a maioria das práticas da Indústria 4.0 aqui analisadas se encaixam em ações que promovem a otimização dos sistemas produtivos, sendo abordadas no framework ReSOLVE pela esfera *Optimize*. Este cenário se dá devido à preocupação da indústria com a diminuição de custos e busca constante para a maior eficiência do uso de recursos e energia. Dessa forma, a concentração das práticas da Indústria 4.0 na categoria *Optimize* demonstra a fundamentação e possível adaptação da Indústria para um modelo mais circular.

Duas das práticas industriais presentes no modelo da Indústria 4.0 foram compartimentalizadas na categoria *Share*, como visto no Quadro 3. O compartilhamento de ativos e recursos é visto como um ponto central da EC, uma vez que diminui a demanda pela extração de recursos naturais, lançando mão do uso de inovações tecnológicas que visam potencializar a vida útil de produtos já existentes através do seu uso por mais de um indivíduo. A Indústria 4.0 se beneficia diretamente com essa prática, uma vez que tal cenário é traduzido em menores encargos com recursos e gastos energéticos no processo produtivo.

Percebe-se que há uma sinergia entre as práticas da Indústria 4.0 com as iniciativas da categoria *Virtualize* isto acontece devido a ligação entre a desmaterialização dos ativos transformando o ambiente mais virtual. Para que isto ocorra há necessidade de forte investimento em tecnologia foco das ferramentas da Indústria 4.0.

O emprego de Robótica e Manufatura Aditiva alinha o processo produtivo tanto à Indústria 4.0 quanto à Economia Circular através da substituição de tecnologias antigas por inovações mais eficientes, caracterizando a categoria *Exchange* do framework apresentado. Nota-se que a utilização de tecnologias de ponta apresentadas pelas novas vertentes da Indústria 4.0 impulsiona a economia circular, uma vez que tais tecnologias priorizam a eficiência de recursos de diminuição de gastos excessivos, como por exemplo, de energia e água. Um exemplo deste cenário é o emprego de Impressoras 3D, que habilita o desenvolvimento de produtos ou estruturas de pequena a grande escala sob medida, minimizando o gasto de recursos empregados, sendo utilizado somente o necessário.

No Quadro 3 é perceptível também a falta de tecnologias que auxiliam diretamente nos modelos de negócios de regeneração da EC (*Regenerate*). Este tipo de modelo envolve a recuperação de ecossistemas e de materiais e a utilização de energia e matérias-primas renováveis (EMF, 2015a). Desta forma, é necessário encontrar formas de utilização das práticas da Indústria 4.0 que podem auxiliar este tipo de negócio. De Souza Jabbour et al. (2018a) destacam o uso da

IoT, com sensores e aplicativos, dentro do *Regenerate* para auxiliar no gerenciamento, controle e planejamento do uso de recursos renováveis, aumento da produtividade e do ciclo de vida da terra quando relacionados ao agronegócio. A alocação eficiente dos recursos renováveis por meio do uso de dados em tempo real é citada por Stock e Seliger (2016) como uma forma de integrar a sustentabilidade na Indústria 4.0.

Desta forma percebe-se a falta de sinergia entre a Indústria 4.0 e a ação *Regenerate* da EC. Além disso, é possível identificar mais algumas lacunas de pesquisas a serem exploradas em trabalhos futuros. No pilar da EC há necessidade de explorar uma maior discussão e contrapartida governamental sobre o tema em países em desenvolvimento. No pilar da Indústria 4.0 há necessidade de pesquisa em relação aos impactos das novas tecnologias na satisfação do cliente, nos processos produtivos, nas cidades e em outras áreas da organização, como: marketing, recursos humanos, financeiro e gestão ambiental.

Na junção dos termos EC e Indústria 4.0, há necessidade de medir os impactos que cada uma das áreas causa na outra e da sinergia já existente. Além de simular os graus de maturidade de cada cenário de aplicação dos termos no cenário da indústria em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Esses conceitos impactam também a forma de gerir e viver em sociedade tendo assim uma agenda de pesquisa do impacto nas cidades e seus habitantes. O lado social ainda se demonstra inexplorado na investigação dos impactos desta quarta revolução industrial tendo a necessidade de investigar e mensurar esses novos pilares na vida dos colaboradores, dos clientes e das comunidades influenciadas pelas indústrias.

As práticas de Indústria 4.0, por se tratarem de aplicações tecnológicas, podem mais facilmente serem retratadas do que os temas abordados pela EC, que tendem ainda ser mais teóricos do que práticos. Estudos futuros poderiam analisar as sinergias e tendências de tais temas através de estudos de caso, analisando o potencial das práticas da Indústria 4.0 de fechar ciclos produtivos e desenvolver soluções mais circulares, nos níveis micro-, meso-, e macroeconômicos.

No quesito ferramenta, percebe-se um direcionamento para estudo de métodos e tecnologias que impulsionem de forma simultânea a EC e a Indústria 4.0. Sugere-se o estudo do SM e CPS utilizados como forma de controle da produção e dos serviços prestados para que já trabalhe com a diminuição do desperdício, resíduos e a utilização de energia no processo produtivo.

6 CONCLUSÃO

Este estudo, fundamentado por uma revisão bibliográfica, visou encontrar e prever pontos de sinergia entre as práticas desenvolvidas e aplicadas na Indústria 4.0, e os princípios regentes da EC. Nota-se que no caminho para a transição entre o modelo econômico linear atual e uma realidade de mercado e sociedade baseada na máxima valorização do capital natural, como abordado pela EC, é baseado na inovação tecnológica, proporcionando assim tanto maior eficiência em processos produtivos, quanto benefícios ambientais.

Neste artigo, lançou-se mão da utilização do framework ReSOLVE como ferramenta para compartimentalizar práticas da Indústria 4.0 que possivelmente potencializariam a EC. Entretanto, notou-se que tal ferramenta, por mais que fiel aos princípios da EC, apresenta grande subjetividade de interpretação do usuário, uma vez que seu uso é estritamente qualitativo, não havendo a possibilidade de quantificar e comparar características das ações nele

trabalhadas. Em pesquisas futuras tal limitação pode ser sanada por meio da junção deste com outros frameworks existentes para a EC com o intuito de melhor delimitar os *inputs* empregados.

Ambos os temas abordados neste trabalho se apresentam na fase inicial de seus estudos e desenvolvimento, por mais que muito se invista nos mesmos. Desta forma, há a necessidade de investiga-se cada tema de forma separada e em conjunto. Esse último ponto, foi o foco deste presente artigo. Devido a esta fase inicial, o artigo limitou-se a compreensão do cenário científico de publicações necessitando que no futuro ocorra sua validação na prática das indústrias.

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Ahuett-Garza, H., Kurfess, T. (2018) A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart manufacturing. *Manufacturing Letters*. 15, p. 60-63.

Angione, G., Barbosa, J., Gosewehr, F., Leitão, P., Massa, D., Matos, J., Peres, R. S., Rocha, A. D., Wermann, J. (2017) Integration and Deployment of a Distributed and Pluggable Industrial Architecture for the PERFoRM Project. *Procedia Manufacturing*. 11, p. 896 – 904.

Bahn-Walkowiak, B., R. Bleischwitz, M. Distelkamp, and M. Meyer. (2012) Taxing constructionminerals:A contribution to a resource efficient Europe. *Mineral Economics* 25(1): p. 29–43.

Bauer, W. Hämmerle, M., Schlund, S., Vocke, C. (2015) Transforming to a hyper-connected society and economy – Towards an “Industry 4.0” *Procedia Manufacturing*. 3, p. 417-424.

Braungart, M., McDonough, W. (2009) Cradle to cradle. Remaking the way we make things. North Point Press, New York.

Beier, G. Niehoff, S., Xue, B. (2018). More Sustainability in Industry through Industrial Internet of Things? *Applied Sciences*

Chen, Y. (2017) Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. *Engineering*. 2, 588 – 595.

Confederação Nacional da Indústria. (2018) Economia Circular: Oportunidades e desafios para a indústria brasileira. Confederação Nacional da Indústria. Brasília.

Contretas, J. D., Garcia, J. I., Pastrana, J. D. (2017) Developing of Industry 4.0 Applications. *International Journal of Online Engineering*.13, 30-47.

Davies, R., Coole, T., Smith, A. (2018) Review of socio-technical considerations to ensure successful implementation of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 11, 1288 – 1295.

De Souza Jabbour, Ana Beatriz Lopes; Jabbour, Charbel Jose Chiappetta; Godinho Filho, Moacir; Roubaud, David. (2018a) Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*. 1-14.

De Souza Jabbour, Ana Beatriz Lopes; Jabbour, Charbel Jose Chiappetta; Foropon, Cyril; Godinho Filho, Moacir. When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? (2018b) The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 32, 18-25.

- Despeisse, M.; Baumers, M.; Brown, P.; Charnley, F.; Ford, S. J.; Garmulewicz, A.; Knowles, S.; Minshall, T. H. W.; Mortara, L.; Reed-Tsochas, F. P.; Rowley, J. (2017) Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 115, 75-84.
- Dombrowski, U., Richter, T., Krenkel, P. (2017) Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems - A use cases analysis. *Procedia Manufacturing*. 11, 1061 – 1068.
- Dorst, W. (Ed.). (2016). *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0: Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0*. Bitkom Research GmbH.
- Ellen Macarthur Foundation. Delivering the Circular Economy: A toolkit for policymakers. (2015a).
- Ellen Macarthur Foundation. Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. (2015b) .
- Ellen MacArthur Foundation, D. E., Zumwinkel, K., & Stuchtey, M. R.. Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe. (2015c).
- Gabriel, Magdalena; Pessl, Ernst. Industry 4.0 and sustainability impacts: critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. (2016) *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 14,131-136.
- Gebler, M., Uiterkamp, A., Visser, C. A Global Sustainability Perspective on 3D Printing Technologies. (2014) *Energy Policy* 74,158-167.
- Gerlitz, L. (2015) Design for Product and Service Innovation in Industry 4.0 and Emerging Smar Society. *Journal of Security and Sustainability Issues*. 5,2.
- GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. (2016) A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114,11-32.
- Gruzauskas, V., Baskutis, S., Navickas V. (2018) Minimizing the trade-off between sustainability and cost effective performance by using autonomous vehicles. *Journal of Cleaner Production*. 184, 709 – 717.
- Heyes, Graeme; Sharmina, M.; Mendoza, J. M. F.; Gallego-Schmid, A.; Azapagic, A. (2018) Developing and implementing circular economy business models in service-oriented technology companies. *Journal of Cleaner Production*, 177, 621-632.
- Hofmann, Erik; Rüsç, Marco. (2017) Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers In Industry*, 89, 23-34.
- Hozdić, Elvis. (2015) Smart factory for industry 4.0: A review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 2, 1, 2067-3604.
- INSTITUT EDDEC (Canadá). Economía Circular. 2018. Disponible em: <http://instituteddec.org/themes/economie-circulaire/>
- Kalmykova.Y., Sadagopan. M., Rosado, L., (2018). Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resource, Conservation and Recycling*. 135, 190-201.
- Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M. (2017) Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221-232.

- Lee, Jay; Bagheri, Behrad; Kao, Hung-an. (2015) A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3,18-23.
- Li, Zhe; Wang, Yi; Wang, Ke-Sheng. (2017) Intelligent predictive maintenance for fault diagnosis and prognosis in machine centers: Industry 4.0 scenario. *Advances in Manufacturing*, 5, 4, 377-387.
- Lin, Kuan; Shyu, Joseph; Ding, Kun. (2017) A Cross-Strait Comparison of Innovation Policy under Industry 4.0 and Sustainability Development Transition. *Sustainability*, 9, 5,786-786.
- Lieder, Michael; Rashid, Amir. (2016) Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal Of Cleaner Production*, 115, 36-51.
- Luthra, Sunil; Mangla, Sachin Kumar. (2018) Evaluating Challenges to industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety And Environmental Protection*, 117,168-179.
- Mcdowall, Will et al. (2017) Circular Economy Policies in China and Europe. *Research and Analysis*, 21, 651-661.
- Mueller, Egon; Chen, Xiao-Li; Riedel, Ralph. (2017) Challenges and Requirements for the Application of Industry 4.0: A Special Insight with the Usage of Cyber-Physical System. *Chinese Journal Of Mechanical Engineering*, 30, 5, 1050-1057.
- Murray, Alan; Skene, Keith; Haynes, Kathryn. (2017) The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*,140, 3, 369-380.
- Ness, D., (2008) Sustainable urban infrastructure in China: towards a factor 10 improvement in resource productivity through integrated infrastructure system. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. 15, 288 - 301.
- Ngo, T., Kashani, A. Imbalzano, G., Nguyen, K., Hui, D. (2018) Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143,172-196.
- Prendeville, S., Cherim, E. And Bocken, N., (2018). Circular cities: mapping six cities in transition. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 26, 171-194.
- Prieto-Sandoval, Vanessa; Jaca, Carmen; Ormazabal, Marta. (2018) Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179, 605-615.
- Rojko, Andreja. (2017) Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal Of Interactive Mobile Technologies*, 11, 77-90.
- Scheel, C., (2016) Beyond sustainability. Transforming industrial zero-valued residues into increasing economic returns. *Journal of Cleaner Production*. 131, 376 - 386.
- Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. *International journal of management reviews*, 9(1), 53-80.
- Stock, T.; Seliger, G.. (2016) Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia Cirp*, 40, 536-541.

- Uhlmann, Eckart; Hohwieler, Eckhard; Geisert, Claudio. (2017) Intelligent production systems in the era of Industrie 4.0—changing mindsets and business models. *Journal of Machine Engineering*, 17, 5-24.
- Urbina, Marcelo et al. (2017) Cyber-Physical Production System Gateway Based on a Programmable SoC Platform. *IEEE Access*, 5, 20408-20417.
- Vijaykumar, S., Saravanakumar, S. G., & Balamurugan, M. (2016). Unique sense: Smart computing prototype for industry 4.0 revolution with IOT and bigdata implementation model. *arXiv preprint arXiv:1612.09325*.
- Yan, Hehua et al. (2018) Industrial Big Data Analytics for Prediction of Remaining Useful Life Based on Deep Learning. *IEEE Access*, 6, 17190-17197.
- Yoon, Soocheol; Suh, Suk-Hwan. (2016) Manufacturing Information Bus from the Perspective of Cyber Physical Manufacturing System (CPMS). *IFAC-Papers OnLine*, 49,103-108.
- Yue, Xuejun et al. (2015) Cloud-assisted industrial cyber-physical systems: An insight. *Microprocessors and Microsystems*, 39, 1262-1270.
- Xu, Panpan et al. (2017) Vidx: Visual diagnostics of assembly line performance in smart factories. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 23, 291-300.
- Xu, Xiaoya; Hua, Qingsong. (2017) Industrial big data analysis in smart factory: current status and research strategies. *IEEE Access*, 5, 17543-17551.
- Wan, Jiafu et al. (2018) Toward Dynamic Resources Management for IoT-Based Manufacturing. *IEEE Communications Magazine*, 56, 2, 52-59.
- Wan, Jiafu et al. (2016) Software-defined industrial internet of things in the context of industry 4.0. *IEEE Sensors Journal*, 16, 7373-7380.
- Wan, Jiafu et al. (2017) A manufacturing big data solution for active preventive maintenance. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13, 2039-2047.
- Winans, K.; Kendall, A.; Deng, H.. (2017) The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 68, 825-833.
- Wu, Hua-Qing. (2014) Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 163-175.
- Zezulka, F. et al. (2016) Industry 4.0—An Introduction in the phenomenon. *IFAC-Papers OnLine*, 49, 8-12.
- Zhu, Xuechu; Qiao, Fei; Cao, Qiushi. (2016) Industrial big data-based scheduling modeling framework for complex manufacturing system. *Advances in Mechanical Engineering*, 9.