



O PAPEL DA IoT COMO VIABILIZADOR DA ECONOMIA CIRCULAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

ANA CAROLINA BERTASSINI - anabertassini@usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

MURILO NEVES MOURARIAS - murilomourarias@usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

ALDO ROBERTO OMETTO - aometto@sc.usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

MATEUS CECILIO GEROLAMO - gerolamo@sc.usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

Área: 11 - TEMÁTICA: ECONOMIA CIRCULAR

Sub-Área: 11.1 - ECONOMIA CIRCULAR

Resumo: NA ECONOMIA CIRCULAR (EC), A ABORDAGEM DE PRODUTO-COMO-SERVIÇO (PAAS) TEM SIDO CONHECIDA COMO IMPULSIONADORA DA ADOÇÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS, DEVIDO AO SEU POTENCIAL DE DESMATERIALIZAÇÃO DE PRODUTOS, TRANSFORMANDO-OS EM SERVIÇOS. COM O ADVENTO DE VÁRIAS TECNOLOGIAS RELACIONADAS À TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL, NUMEROSOS ESTUDOS APONTARAM QUE ESSAS TECNOLOGIAS PODEM CONTRIBUIR AINDA MAIS PARA A ADOÇÃO DE PRÁTICAS CIRCULARES, COMO O PAAS. ESSAS TECNOLOGIAS PERMITEM A COLETA, ANÁLISE E GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES, DE MANEIRA ÁGIL, PARA O GERENCIAMENTO DO CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO OU SERVIÇO, ATIVIDADES QUE FAZEM PARTE DAS PRÁTICAS CIRCULARES DO DIA-A-DIA. NESSE CENÁRIO, ESTE ESTUDO TEM COMO OBJETIVO ENTENDER COMO A INTERNET DAS COISAS (IOT) PODE SER USADA COMO UM FACILITADOR PARA A PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES DE EC. PARA ATINGIR ESSE OBJETIVO, UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA LITERATURA (RBS) FOI REALIZADA PARA IDENTIFICAR SOLUÇÕES CONCEITUAIS OU APLICAÇÕES PRÁTICAS DA IOT EM EC. O ESTUDO IDENTIFICOU QUE O PRINCIPAL PAPEL DA IOT PARA AS SOLUÇÕES DE EC É A COLETA DE DADOS. ALÉM DISSO, OS RESULTADOS MOSTRAM QUE A TECNOLOGIA IOT PODE SER USADA EM TODO O CICLO DE VIDA DO PRODUTO/SERVIÇO E NO ECOSSISTEMA DE NEGÓCIOS PARA MONITORAR O FLUXO DE DADOS.

Palavras-chaves: ECONOMIA CIRCULAR; PRÁTICAS CIRCULARES; INTERNET DAS COISAS; IOT; REVISÃO SISTEMÁTICA.

THE ROLE OF IoT AS AN ENABLER OF CIRCULAR ECONOMY: A SYSTEMATIC REVIEW

Abstract: IN THE CIRCULAR ECONOMY (CE), THE APPROACH OF PRODUCT-AS-A-SERVICE (PAAS) HAS BEEN KNOWN AS A DRIVER FOR THE ADOPTION OF SUSTAINABLE PRACTICES DUE TO ITS POTENTIAL OF DEMATERIALIZATION OF PRODUTOS, TRANSFORMING THEM INTO SERVICES. WITH THE ADVENT OF SEVERAL TECHNOLOGIES RELATED TO DIGITAL TRANSFORMATION AND THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION, NUMEROUS STUDIES HAVE POINTED OUT THAT THESE TECHNOLOGIES CAN CONTRIBUTE EVEN MORE TO THE ADOPTION OF CIRCULAR PRACTICES, SUCH AS THE PAAS. THESE TECHNOLOGIES ENABLE THE COLLECTION, ANALYSIS AND MANAGEMENT OF INFORMATION, IN AN AGILE WAY, FOR THE MANAGEMENT OF THE LIFE CYCLE OF A PRODUCT OR SERVICE, ACTIVITIES THAT ARE PART OF THE DAY-TO-DAY CIRCULAR PRACTICES. IN THIS SCENARIO, THIS STUDY AIMS TO COMPREHEND HOW THE INTERNET OF THINGS (IOT) MAY BE USED AS AN ENABLER FOR THE PROPOSITION OF CE SOLUTIONS. TO ACHIEVE THIS GOAL, A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW WAS CARRIED OUT TO IDENTIFY CONCEPTUAL SOLUTIONS OR PRACTICAL APPLICATIONS OF IOT INTO CE. THE STUDY IDENTIFIED THAT THE MAIN ROLE OF IOT FOR THE CE SOLUTIONS IS THE DATA COLLECTION. MOREOVER, THE RESULTS SHOW THAT THE IOT TECHNOLOGY MAY BE USED IN THE ENTIRE PRODUCT-SERVICE LIFE-CYCLE AND BUSINESS ECOSYSTEM TO MONITOR THE DATA FLOW.

Keywords: CIRCULAR ECONOMY; CIRCULAR PRACTICES; INTERNET OF THINGS; IOT; SYSTEMATIC REVIEW.

1. INTRODUÇÃO

Economia Circular (EC) é a ideia de colocar negócios privados a serviço da transição para um sistema mais sustentável (GEISSDOERFER et al., 2018). A EC é entendida como um conceito guarda-chuva que por definição propõe relacionar temas (por exemplo: *cradle-to-cradle*, biomimética, ecologia industrial, economia de desempenho) que não foram anteriormente relacionados de maneira a concentrar atenção em uma qualidade particular ou característica compartilhada pelos mesmos (BLOMSMA; BRENNAN, 2017). A EC é descrita como um sistema econômico que representa uma mudança de paradigma no modo como a sociedade se relaciona com a natureza e busca facilitar o desenvolvimento sustentável por meio de sua implementação no nível micro (empresas), meso (entre empresas) e macro (cidades, regiões e governos) (PRIETO-SANDOVAL, et al., 2018). Além disso, EC pode ser entendida como um modelo econômico que fornece múltiplos mecanismos de criação de valor que estão dissociados do consumo de recursos finitos e que tem por objetivo a eliminação de desperdícios através de *design* superior de materiais, produtos, sistemas e modelos de negócio (EMF, 2015 p.23).

A transição para a EC requer mudanças que possibilitem inovações na forma como a sociedade legisla, produz e consome, enquanto também usa a natureza como inspiração para responder às necessidades sociais e ambientais (COHEN-ROENTHAL, 2000; HOFSTRA, HUISING, 2014). Essas mudanças devem ser apoiadas pelas relações de colaboração que emergem com as inovações disruptivas envolvendo uma série de stakeholders e valores compartilhados (ARENA et al., 2017; JAY et al., 2016). Nessa lógica as organizações são parte de um ecossistema de negócio, no qual elas coexistem cooperativa e competitivamente em torno de inovações, enquanto redefinem suas capacidades de negócio (JACOBIDES et al., 2018).

A EC é habilitada, em sua grande maioria, por inovações nos modelos de negócio (BOCKEN et al., 2018). Produto-como-um-Serviço (*Product-as-a-Service - PaaS*), é um tipo de modelo de negócio circular, que apresenta o maior potencial de dar suporte a transição para a EC devido ao seu potencial de desmaterializar produtos (PAGOROPOULOS et al., 2017) com o auxílio de tecnologias. Nesse modelo de negócio, o foco é a venda de um conjunto de produtos, serviços, redes de suporte e infraestruturas, que incluem reparo, manutenção, atualizações, treinamento e consultoria, e serviços de

disposição como reciclagem e logística reversa (GAIARDELLI et al., 2017), o que reflete em mudanças e inovações disruptivas em toda a cadeia de valor.

Para a transição para a EC e implementação de modelos de negócio circulares disruptivos como o PaaS, as tecnologias da informação são críticas (LEWANDOWSKI, 2016; ELORANTA; TURUNEN, 2015; WINANS et al., 2017). Segundo Lacy (2015), a EC deve ser uma transformação digital ou não então não será uma transformação. Isso se deve ao fato de que a transformação digital traz oportunidades disruptivas para oferecer mais valor aos clientes que usam radicalmente menos recursos. Além disso, novas tecnologias que incluem processos de aprendizado mais rápidos e ágeis com ciclos iterativos são necessárias para redesenhar os principais aspectos de nossa economia para a transição para a EC (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION & GOOGLE, 2019). A transformação digital implica que mais do que nunca, dados digitais estão sendo gerados (HEDBERG et al., 2019). O gerenciamento desses dados para a transição para a EC pode ajudar a convertê-los em informações e conhecimentos valiosos para identificar oportunidades e propor soluções circulares (JORDAN et al., 2019).

A literatura reconhece a *IoT* (*Internet of Things*), *Big Data Analytics* e Inteligência Artificial como facilitadores da transição para a EC e implementação de modelos de negócios circulares (JABBOUR et al., 2017; RYMASZEWSKA; GUNASEKARAN, 2017; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION & GOOGLE, 2019; JORDAN et al., 2019). Jordan et al., (2019) afirmam que a EC somente será implementada em larga escala com a ajuda de tecnologias digitais.

IoT é uma das tecnologias que mais podem impactar a transição para a EC. Isso porque pode ajudar no gerenciamento de todo o ciclo de vida de um produto ou serviço, contribuindo, por exemplo, para o estabelecimento de manutenções mais adequadas e a rastreabilidade dos produtos (YONG et al., 2019). A *IoT* trata-se de dispositivos compostos por sensores com suporte computacional que se comunicam e interagem com outros dispositivos e sistemas em uma rede, como a internet (SYMEONAKI et al., 2020). Pode ser considerada também como a própria rede por onde se estabelece essa comunicação (LIN et al., 2017). Tem-se ainda a chamada Internet Industrial das Coisas (IIoT, Industrial Internet of Things), uma aplicação da Internet das Coisas no âmbito industrial (AAZAM, et al., 2018).

O trabalho de Nobre et al., (2017) apresentou um estudo bibliométrico sobre trabalhos de economia circular com as tecnologias *Big Data* e Internet das Coisas, no qual identificaram um aumento no interesse desse tipo de pesquisa, mas apontou a necessidade de se realizar

mais pesquisas nessas áreas, e de que havia mais trabalhos com soluções conceituais do que aplicadas.

Apesar de muitos estudos estarem sendo desenvolvidos em ambas as áreas de pesquisa, EC e *IoT*, como apontou o trabalho de Nobre et al., (2017), ainda há um conhecimento limitado de como a *IoT* pode ser usada como um viabilizador da transição para a EC. Desta forma, este artigo tenta auxiliar no preenchimento desta lacuna de forma teórica, por meio da realização de uma revisão sistemática bibliográfica, a fim de avaliar o papel da *IoT* para apoiar a transição para a EC. Portanto, coloca-se a seguinte pergunta de pesquisa: “**Como a IoT pode ser usada como viabilizador da transição para a economia circular?**” Além disso, a resposta a essa pergunta tem como objetivo levantar de quais formas a *IoT* pode ser usada para melhorar o desempenho e auxiliar na implementação de práticas e estratégias de EC.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta o procedimento metodológico; a seção 3 apresenta os resultados obtidos e discussão; por fim, a seção 4 apresenta as conclusões.

2. METODOLOGIA

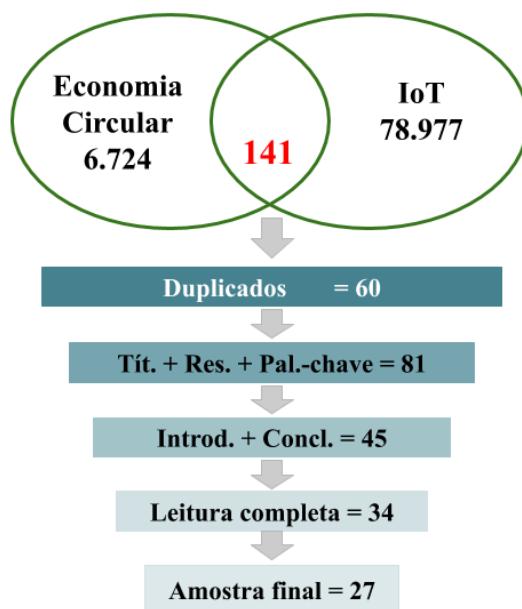
Esta pesquisa integra conceitos de EC e *IoT* para promover os benefícios do uso da *IoT* para a transição circular em busca da resiliência ambiental e social, e prosperidade econômica. Foi utilizada uma abordagem de revisão bibliográfica sistemática (RBS). Métodos complementares à RBS, como análise bibliométrica e de conteúdo, foram utilizados para explorar ao máximo o que a literatura atual apresenta sobre o campo de pesquisa (CARVALHO et al., 2013; TAKEY & CARVALHO, 2016).

As bases de dados selecionadas para as buscas dos artigos foram *Web of Science*, *Scopus*, e *IEEE* devido ao fato que elas são de grande relevância para a área de pesquisa, compreendendo praticamente todos os trabalhos referentes ao tema abordado. As buscas foram feitas utilizando-se a seguinte combinação de palavras: ((“*IoT*” or “*Internet of Things*” or “*Industrial Internet of Things*” or “*IIoT*”) and (“circular economy”)). A busca foi realizada por ‘tópico’ e refinado por idioma (inglês) e tipo de documento (article, proceedings papers, review). Não foi definido nenhuma restrição temporal para a busca. Os seguintes critérios foram considerados para a inclusão/exclusão dos artigos durante as fases de leitura e análise: (I) apresentar relação clara entre EC e *IoT*; (I) apresentar aplicações do uso da *IoT* para ações/estratégias de EC; (E) abordar de forma superficial a relação entre EC e *IoT*; (E) não trazer detalhes e/ou aplicações da *IoT* para ações/estratégias de EC.

Desta forma, inicialmente foi obtido um total de 141 artigos (Scopus = 78; Web of Science = 51; IEEE = 12), dos quais 60 eram duplicados e foram excluídos da amostra, restando 81 artigos para análise. Com a amostra de 81 artigos iniciou-se o procedimento/sistemática de leitura, primeiro pela leitura de título, resumo e palavras chave; seguido da leitura de introdução e conclusão; e finalmente, a leitura completa do artigo. Esse procedimento pode ser compreendido e visualizado por meio da Figura 1.

Utilizando esta amostra de artigos e apoiada pelo *software Vosviewer*, foi realizada uma análise de rede para identificar as ocorrências de palavras-chave mais frequentes e os países em que as pesquisas estão sendo realizadas. Além disso, uma análise de conteúdo da amostra de artigos foi realizada para extrair quais são as aplicações de IoT para a EC e como elas podem ativar a transição para a EC.

FIGURA 1: Procedimento de leitura e análise dos artigos

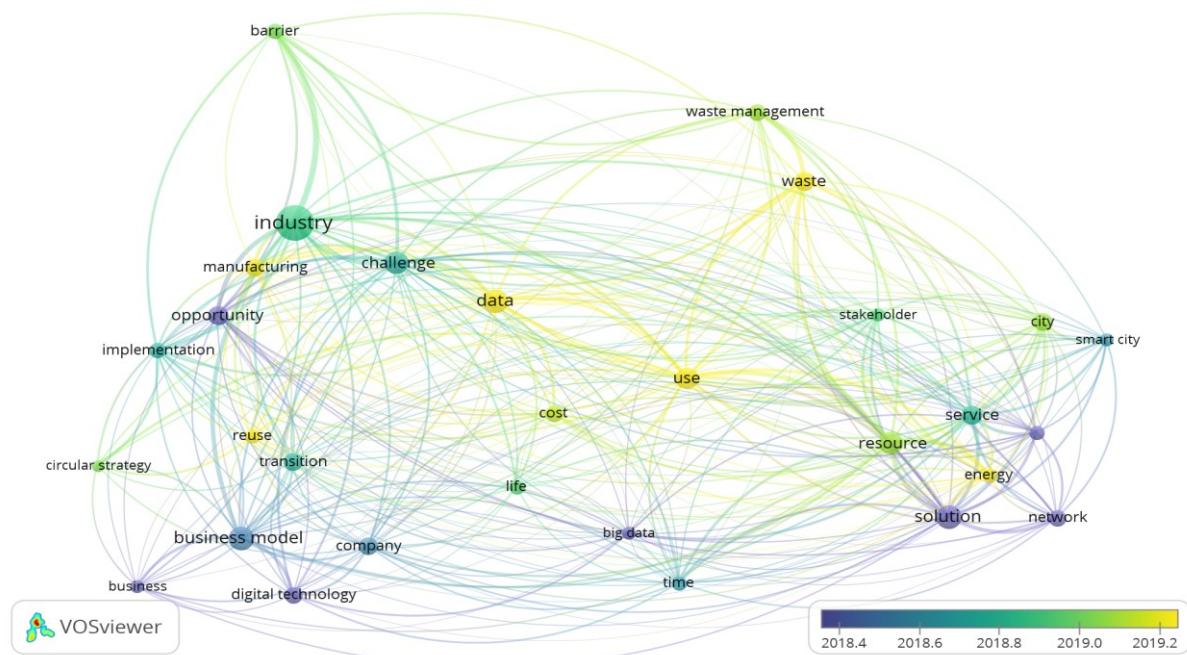


3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a análise da amostra de estudos coletados através da RBS verificou-se que diversas pesquisas apontam as tecnologias digitais, como a Internet das Coisas, como sendo viabilizadores de práticas circulares dentro das organizações. Além disso, grande parte dos estudos propõe conceitualmente como a *IoT* pode contribuir para o desenvolvimento e implementação de soluções de EC. Nesse sentido, a Figura 2 apresenta uma rede de visualização das principais ocorrências de termos mais relevantes de publicações que

conectam EC e IoT divididas por ano de publicação dos termos em artigos. As linhas representam a conexão entre os termos, sendo assim, quanto mais fina a linha mais fraca é a conexão, e vice-versa. E quanto maior é o nó, mais vezes o termo apareceu em publicações. A figura destaca o termo “*industry*” como grande foco das publicações e alguns outros termos como “*solution*”, “*business model*”, e “*resource*” como temas frequentes de pesquisas relacionando *IoT* e EC. A rede de palavras chama a atenção para as conexões entre os termos, evidenciando que grande parte das publicações nessa área está relacionada com o monitoramento e gestão de fluxo de dados aplicados a gestão de resíduos, cidades inteligentes, gestão de recursos e de *stakeholders*. Ademais, percebe-se que a maior parte das publicações ocorreu a partir do ano de 2019, destacando a novidade e a necessidade de aprofundamento do tema.

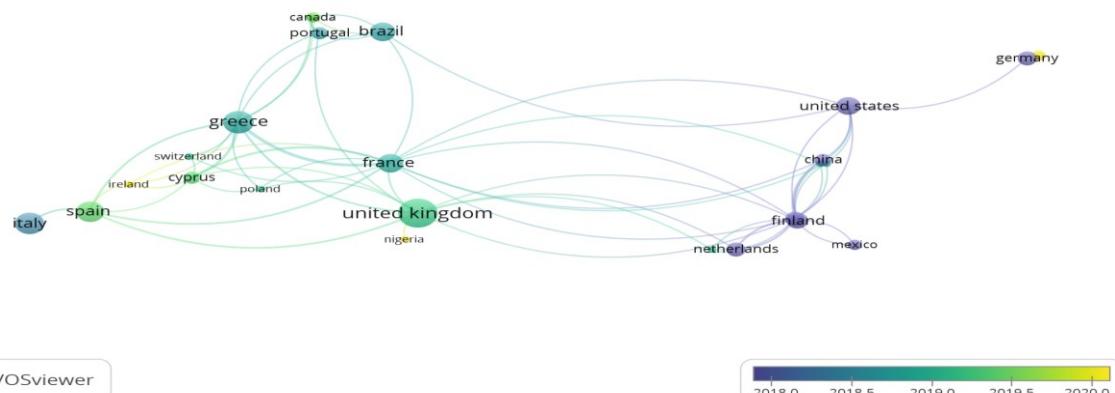
FIGURA 2: Ocorrência de palavras-chave



Para entender as colaborações entre países em pesquisas dessa temática, uma rede de coautoria foi construída como mostra a Figura 3. Nesta figura, nota-se que o Reino Unido, é o país que tem se destacado na realização de pesquisas nessa área, sendo que algumas de suas pesquisas são desenvolvidas em parcerias com outros países da Europa. Outro ponto importante, é a presença do Brasil como um dos países que mais tem se dedicado a exploração e pesquisa de tais temas. Infere-se ainda que as primeiras publicações foram desenvolvidas em sua maioria pelos Estados Unidos, China e alguns países da Europa.

Porém, destaca-se que pesquisas mais recentes envolvendo a conexão entre EC e IoT tem forte presença em países da Europa e no Brasil.

FIGURA 3: Rede de co-autoria



Complementar aos dados apresentados acima, o Quadro 1 apresenta a consolidação da análise de conteúdo realizada por meio da leitura crítica da amostra de artigos selecionada. No Quadro 1 é possível observar que a *IoT* é abordado tanto individualmente no contexto da EC, quanto combinado a outras tecnologias como Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, Impressão 3D, RFID e outras. Observa-se também que a maior parte das aplicações de *IoT* para a implementação de práticas circulares têm o objetivo de monitorar e rastrear produtos com o objetivo de tomar decisões mais precisas, melhorar fluxos de recursos e otimizar valor em produtos e/ou processos, a partir da coleta de dados.

As aplicações de *IoT* no contexto de EC encontradas nesta revisão se mostram em diferentes setores, como o uso de *IoT* para produção agrícola, no setor de saúde, na implementação de cidades inteligentes, no setor automobilístico, em serviços, entre outros. A maioria dos trabalhos abordam a questão do rastreamento de produtos, a gestão de resíduos e o monitoramento da cadeia de valor. Verificou-se também o uso da *IoT* em atividades de remanufatura, sejam aquelas aplicadas de forma em que todo o ciclo de vida do produto é monitorado, a fim de se identificar o estado do produto, até aquelas em que se determina o tempo exato em que um produto precisa ser remanufaturado. Além disso, pode-se perceber que em diversas soluções houve a instalação de redes de sensores de *IoT* nas cadeias produtivas, o que possibilitou a obtenção de dados de fabricação e de transporte de recursos, além de otimizar o valor ao longo da cadeia e propiciar uma maior conexão entre os diferentes *stakeholders*.

Quadro 1: Papel da IoT para a Economia Circular

| Autores | Tipo do artigo | Aplicação da IoT | Papel da IoT para a EC |
|------------------------------|--|--|--|
| ALCAYAGA, et al., (2019) | Revisão | Sistemas inteligentes | <ul style="list-style-type: none"> ● Funcionar como uma rede/plataforma de conexão de dispositivos*, coleta e análise de dados |
| ALCAYAGA; HANSEN, (2017) | Conceitual | Indústria | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar de dados |
| ANDRADE et al., (2019) | Revisão | Cidades Inteligentes | <ul style="list-style-type: none"> ● Monitorar ecossistemas ● Automatizar operações diárias ● Servir como <u>Inteligência para tomada de decisão</u> |
| ANGELOPOULOS, et al., (2019) | Conceitual | Cidades Inteligentes | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar informações sobre diferentes tipos de cidadãos e como eles registram sua vida |
| ASKOXYLAKIS (2018) | Revisão - teórica | Otimizar valor em um sistema de EC | <ul style="list-style-type: none"> ● Estender o ciclo de uso dos ativos* ● Localizar e verificar as condições e disponibilidade dos ativos* ● Regenerar o capital natural |
| BELIATIS, et al. (2019) | Aplicação | Serviços (Reciclagem de embalagens) | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar dados ● Funcionar como rede/plataforma de conexão de diversos sistemas e dispositivos |
| BIANCHINI, A. et al., (2019) | Revisão e Estudos de caso publicados na literatura | Aplicação de IoT, Inteligência Artificial e Realidade Aumentada em diversas empresas | <ul style="list-style-type: none"> ● Localizar, rastrear em tempo real de produtos, materiais e componentes* ● Analizar a condição e desempenho do produto, material e componente* ● Gerir recursos ● Analizar condições de materiais* ● Monitorar constante do desempenho do ativo e consumo de energia* ● Quantificar e separação de resíduos para reuso e reciclagem. |
| BRESSANELLI, et al. (2018) | Revisão, Conceitual e Aplicação | Uso de tecnologias digitais para superar desafios da EC | <ul style="list-style-type: none"> ● Melhorar o design do produto ● Atrair clientes-alvo ● Monitorar e rastrear os produtos* ● Fornecer suporte técnico* ● Fornecer medidas preventivas e manutenção preditiva* ● Otimizar o uso do produto* ● Aprimorar renovação e atividades em fim de vida* |
| BRESSANELLI, et al., (2018) | Aplicação | Serviços (lavanderia) | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar dados (monitora uso do cliente), upgrade do produto, estimativa da vida útil, prever manutenção* |

| | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|--|--|
| DE OLIVEIRA; SOARES, (2017) | Revisão e estudo de caso real | Analise do uso de IoT e big data na indústria de calçados portuguesa | <ul style="list-style-type: none"> ● Conectar múltiplos atores da cadeia de valor ● Melhorar a transparéncia das informações ● Otimizando custos, serviço, agilidade e resiliência da cadeia ● Otimizar a eficiência da produção ● Rastrear produtos* possibilitando entender o comportamento do consumidor ● Melhoria no design e durabilidade dos produtos* |
| DE SOUSA JABBOUR, et al., (2018) | Revisão | Geral | <ul style="list-style-type: none"> ● Regenerar, compartilhar, ciclar e virtualizar produtos* |
| ESMAEILIAN, et al., (2018) | Revisão e Conceitual | Cidades | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar dados ● Rastrear produto* ● Controlar ações |
| GARCIA-MUÑA, et al. (2018) | Conceitual | Aplicações da sustentabilidade em um ambiente de fábrica | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar dados e informações |
| GARCIA-MUÑA, et al., (2019) | Aplicação | Indústria | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar dados do processo e criar banco de dados para conduzir avaliações de impacto socioambiental |
| GARRIDO-HIDALGO, et al., (2019) | Aplicação | Cadeia Reversa de Resíduos | <ul style="list-style-type: none"> ● Identificar fluxo de produtos ● Transmitir dados locais e gerenciamento de estoque ● Monitorar ambiental de ativos e interconexão entre espaços industriais |
| GARRIDO-HIDALGO, et al., (2020) | Revisão, Conceitual e Aplicação | Indústria | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar dados |
| GLIGORICet al., (2019) | Aplicação | Indústria | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar dados ● Rastrear e monitorar produto* |
| HATZIVASILIS, et al., (2019) | Aplicação | Serviços (manutenção) | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar dados ● Criar plataforma/redes de conexão entre dispositivos |
| INGEMARSDOTTER, et al., (2019) | Revisão | Caso de diferentes áreas e setores | <ul style="list-style-type: none"> ● Rastrear informações sobre a disponibilidade, localização, e composição de produtos* ● Otimizar/melhorar o design de produtos e/ou serviços baseado nos dados coletados nas fases do ciclo de vida do produto* |
| KERIN; PHAM, (2019) | Revisão | IoT combinado a outras tecnologias para alavancar ações de EC | <ul style="list-style-type: none"> ● Melhorar o design de produtos* ● Rastrear produtos e materiais* ● Coletar informações sobre atividades de uso, serviço e recuperação de produtos* ● Monitorar qualidade dos produtos e usar como fonte dos dados para manutenção preditiva* ● Melhorar e aproximar a relação entre fornecedores e clientes ● Usar dados coletados para fazer melhor uso dos recursos e entender padrão de uso dos |

| consumidores | | | |
|------------------------------|------------|---|---|
| KERIN; PHAM, (2020) | Conceitual | Indústria | <ul style="list-style-type: none"> ● Possibilitar a aquisição de informações ● Rastreabilidade do produto* ● Transparência no compartilhamento de informações |
| MBOLI, et al., (2020) | Aplicação | Fabricação de máquinas de café | <ul style="list-style-type: none"> ● Rastrear e monitorar produtos, materiais e componentes em tempo real* ● Prever o valor residual de produtos pós-uso* |
| NASIRI, et al., (2017) | Revisão | Geral | <ul style="list-style-type: none"> ● Rastrear produtos* ● Otimizar a eficiência no uso de recursos e produtos* ● Otimizar rotas de entregas* ● Evitar a geração de resíduos ● Selecionar materiais recicláveis ● Monitoramento remoto de desastres ambientais, status de veículos, qualidade do solo e condições da atmosfera ● Design de produtos inteligentes* |
| NOBRE; TAVARES, (2017) | Revisão | Big Data e IoT na EC | <ul style="list-style-type: none"> ● Conectar objetos* ● Monitorar ambientes |
| OKORIE, et al., (2018) | Aplicação | Indústria | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar dados para tomar melhores decisões |
| PAGOROPOULOS, et al., (2017) | Revisão | As tecnologias digitais na EC | <ul style="list-style-type: none"> ● Coletar dados |
| RAMAKRISHNA, et al., (2020) | Revisão | Uso de tecnologias da Indústria 4.0 para alavancar a EC | <ul style="list-style-type: none"> ● Fornecer informações sobre o fluxo de materiais e produtos* ● Facilitar a triagem e gerenciamento automáticos de resíduos sólidos |

Legenda: os pontos destacados no quadro se devem ao fato de que são características mais relacionadas ao produto em si, sendo dessa forma diretamente relacionadas e essenciais para a proposição de modelos de negócio de produto-como-um-serviço.

Nesse contexto, aplicações de *IoT* também são grandes auxiliadores para a tomada de decisões precisas, baseadas em dados reais, uma vez que com os dados coletados as empresas conseguem ter mais certeza de como o produto está sendo utilizado, pode-se identificar também deficiências no design e no desempenho do produto, além de monitorar padrões de consumo, uso de recursos, entre outros fatores que influenciam diretamente na proposição de estratégias para transição para a EC.

A partir dessa revisão, pode-se inferir que a *IoT* se mostrou como uma das tecnologias digitais mais importantes para a adoção de práticas circulares nas organizações, uma vez que pode ser aplicada em inúmeras situações e com diferentes objetivos. Além disso, pode colaborar para criar inovações aplicadas a produtos/serviços, processos, modelos de negócio e ecossistemas de negócio.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi possível identificar as diferentes funções que a Internet das Coisas pode exercer para ativar inúmeras práticas circulares nas organizações. Além disso, identificou-se que o papel da *IoT* mais desempenhado nos trabalhos encontrados foi o de monitorar e rastrear produtos, a partir da coleta de dados, a qual pode ser aplicada em todas as fases do ciclo de vida de um produto ou serviço. Assim como no trabalho de Nobre et al., (2017), a revisão retornou mais soluções conceituais do que aplicadas. Para futuras pesquisas, recomenda-se o desenvolvimento de trabalhos com aplicações reais em organizações a fim de validar as diversas soluções teóricas propostas pelos trabalhos encontrados nessa revisão. Além disso, recomenda-se o uso de um número maior de palavras-chaves relacionadas às práticas circulares na *string* de busca, que é uma limitação deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), financiamento [001] e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), financiamento [2018/24830-6].

REFERÊNCIAS

ALCAYAGA, A.; HANSEN, E. G. **Smart-circular systems: a service business model perspective.** Product Lifetimes and the Environment, p. 10-13, 2017.

ALCAYAGA, A; WIENER, M; HANSEN, E G. **Towards a framework of smart-circular systems: An integrative literature review.** Journal of Cleaner Production, v. 221, p. 622-634, 2019.

ANGELOPOULOS, C. M. et al. **IDEAL-CITIES-A Trustworthy and Sustainable Framework for Circular Smart Cities.** In: 2019 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS).

IEEE, 2019. p. 443-450.

ARENA, M., CROSS, R., SIMS, J., UHL-BIEN, M., 2017. **How to Catalyze Innovation in Your Organization:** Executives can fuel the emergence of new ideas by understanding and tapping the power of employee networks. MIT SLOAN MANAGEMENT REVIEW 39–47.

BELIATIS, M. J. et al. **Internet of Things for a sustainable food packaging ecosystem insights from a business perspective.** In: 2019 Global IoT Summit (GloTS). IEEE, 2019. p. 1-6.

BLOMSMA, F.; BRENNAN, G. **The Emergence of Circular Economy:** A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. Journal of Industrial Ecology, v. 21, n. 3, p. 603–614, 1 jun. 2017.

BOCKEN, N. M. P.; SCHUIT, C. S. C.; KRAAIJENHAGEN, C. **Experimenting with a circular business model:** Lessons from eight cases. Environmental Innovation and Societal Transitions, 2018.

BRESSANELLI, G. et al. **Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies.** Sustainability, v. 10, n. 3, p. 639, 2018.

BRESSANELLI, G. et al. **The role of digital technologies to overcome Circular Economy challenges in PSS Business Models:** an exploratory case study. Procedia CIRP, v. 73, n. 2018, p. 216-221, 2018.

CARVALHO, M.M., FLEURY, A.; LOPES, A. **An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends.** Technological Forecasting and Social Change, v. 80, n. 7, p. 1418–1437, 2013.

COHEN-ROSENTHAL, E. **A Walk on the Human Side of Industrial Ecology.** American Behavioral Scientist, v. 44, n. 2, p. 245–264, 2000.

DE SOUSA JABBOUR, A. et al. **Industry 4.0 and the circular economy:** a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. Annals of Operations Research, v. 270, n. 1-2, p. 273-286, 2018.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. (2015). **Growth Within:** A Circular Economy Vision for a Competitive Europe. Retrieved from https://www.mckinsey.de/files/growth_within_report_circular_economy_in_europe.pdf

ELLEN MARCARHTUR FOUNDATION; GOOGLE. Artificial Intelligence and the Circular Economy: AI as a tool to accelerate the transition. Ellen MacArthur Foundation. 2019

ELORANTA, V.; TURUNEN, T. **Seeking competitive advantage with service infusion:** a systematic literature review. Journal of Service Management, v. 26, n. 3, p. 394–425, 2015.

ESMAEILIAN, B. et al. **The future of waste management in smart and sustainable cities:** A review and concept paper. Waste management, v. 81, p. 177-195, 2018.

GAIARDELLI, P. et al. **A classification model for product-service offerings.** Journal of cleaner production, 66, 507-519, 2017.

GARCIA-MUÑA, F. E. et al. **Identifying the equilibrium point between sustainability goals and circular economy practices in an Industry 4.0 manufacturing context using eco-design.** Social Sciences, v. 8, n. 8, p. 241, 2019.

GARCIA-MUÑA, F. E. et al. **The paradigms of Industry 4.0 and circular economy as enabling drivers for the competitiveness of businesses and territories:** The case of an Italian ceramic tiles manufacturing company. Social Sciences, v. 7, n. 12, p. 255, 2018.

GARRIDO-HIDALGO, C. et al. **The adoption of Internet of Things in a Circular Supply Chain framework for the recovery of WEEE:** The case of Lithium-ion electric vehicle battery packs. Waste Management, v. 103, p. 32-44, 2020.

GEISSDOERFER, M. et al. **Business models and supply chains for the circular economy.** Journal of Cleaner Production, v. 190, p. 712-721, 2018.

GLIGORIC, N. et al. **Smarttags:** IoT product passport for circular economy based on printed sensors and unique item-level identifiers. Sensors, v. 19, n. 3, p. 586, 2019.

HATZIVASILIS, G. et al. Review of security and privacy for the Internet of Medical Things (IoMT). In: 2019 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS). IEEE, 2019. p. 457-464.

HATZIVASILIS, G. et al. The CE-IoT Framework for Green ICT Organizations: The interplay of CE-IoT as an enabler for green innovation and e-waste management in ICT. In: 2019 15th International Conference on

Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS). IEEE, 2019. p. 436-442.

HEDBERG, A.; SIPKA, S.; BJERKEM, J. Creating a digital roadmap for a circular economy. European Policy Centre. 2019.

HOFSTRA, N.; HUISINGH, D. **Eco-innovations characterized: a taxonomic classification of relationships between humans and nature**. Journal of Cleaner Production, v. 66, p. 459–468, 2014.

HOMRICH, Aline Sacchi, GALVÃO, Graziela; ABADIA, Lorena Gamboa. **The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways**. Journal of Cleaner Production, v. 175, p. 525–543, 2018.

JABBOUR, C.J.C., JABBOUR ABL DE S, SARKIS J, FILHO MG. Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: An integrative framework and research agenda. *Technol Forecast Soc Change* 2017. doi:10.1016/j.techfore.2017.09.010.

JACOBIDES, M. G., CENNAMO, C.; GAWER, A. **Towards a theory of ecosystems**. *Strategic Management Journal*, v. 39, n. 8, p. 2255–2276, 2018.

JAY, J., GONZALEZ, S., GERARD, M., 2016. Which SOI Innovation Is Right for You? *MIT SLOAN MANAGEMENT REVIEW*.

JORDAN, B. et al., Circular economy, your digital path: how digital enablers the transformation into the sustainable circular economy. *Atos*. 2019

KERIN, M; PHAM, D. T. **Smart remanufacturing: a review and research framework**. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2020.

LACY, P. Why the circular economy is a digital revolution. **World Economic Forum**. 2015.
<https://www.weforum.org/agenda/2015/08/why-the-circular-economy-is-a-digital-revolution/>

LEWANDOWSKI, M. **Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework**. *Sustainability*, v. 8, n. 1, p. 43, 2016.

MORGAN, B. 7 examples of how digital transformation impacted business performance. **Forbes**. 2019

NOBRE, G. C; TAVARES, E. **Scientific literature analysis on big data and internet of things applications on circular economy: a bibliometric study**. *Scientometrics*, v. 111, n. 1, p. 463-492, 2017.

OKORIE, O. et al. **Manufacturing data for the implementation of data-driven remanufacturing for the rechargeable energy storage system in electric vehicles**. In: International Conference on Sustainable Design and Manufacturing. Springer, Cham, 2018. p. 277-289.

PAGOROPOULOS, A.; PIGOSSO, D.; MCALOONE, T. C. **The emergent role of digital technologies in the Circular Economy: A review**. *Procedia CIRP*, v. 64, p. 19-24, 2017.

PRIETO-SANDOVAL, V., JACA, C.; ORMAZABAL, M. **Towards a consensus on the circular economy**. *Journal of Cleaner Production*, v. 179, p. 605–615, 2018.

RYMASZEWSKA, A., HELO, P.; GUNASEKARAN, A. **IoT powered servitization of manufacturing – an exploratory case study**. *International Journal of Production Economics*, v. 192, p. 92–105, 2017.

TAKEY, S. M.; CARVALHO, M. M. **Fuzzy front end of systemic innovations**: A conceptual framework based on a systematic literature review. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 111, p. 97–109, 2016.

VAN BUREN, N., DEMMERS, M.; VAN DER HEIJDEN, R. **Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments**. *Sustainability*, v. 8, n. 7, p. 647, 2016.

WINANS, K., KENDALL, A.; DENG, H. **The history and current applications of the circular economy concept**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 68, p. 825–833, 2017.