



TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS EM CIDADES INTELIGENTES SUSTENTÁVEIS: PERSPECTIVAS FUTURAS

MILTON AUGUSTO BARBOSA, DÉBORA ZUMKELLER SABONARO

RESUMO

Estamos na 4ª. Revolução Industrial, denominada de Indústria 4.0 (I.4.0), onde se aplica recursos e tecnologias que transformam processos físicos em processos virtuais na área industrial. Mas em função de uma tendência mundial de projetos para criação de Cidades Inteligentes Sustentáveis (CIS) com base em *Environmental Social Governance* (ESG), a pergunta é se existe uma perspectiva futura de uso das tecnologias da I.4.0 para melhoria ambiental, social e econômica nas cidades. Assim, através de uma pesquisa exploratória em artigos científicos na base SCOPUS, este trabalho tem o objetivo de conceituar o tema apresentado e demonstrar se existe nos projetos uma tendência de pesquisas inovadoras multidisciplinar de aplicações de I.4.0 nas Cidades Inteligentes Sustentáveis (CIS) com base nos pilares da sustentabilidade. Os resultados demonstram que as pesquisas de I.4.0 nas CIS são recentes e tem tendência crescente, que a maioria são pesquisas conceituais que direcionam para novas inovações empíricas de aplicação das tecnologias da I.4.0 nas CIS com base nos pilares da Economia Circular (EC) para a melhoria da sustentabilidade nas cidades.

Palavras-chave: Ambiental; Economia Circular; Governança; Social; Sustentabilidade

1 INTRODUÇÃO

O tema do artigo está inserido em alguns tópicos da Agenda 2030 da ONU, UNDP (2023), para conseguir realmente a sustentabilidade mundial. A Agenda propõe iniciativas para uma Educação de Qualidade com Inclusão e Sem fome, Preservação das Águas, Água Limpa e Saneamento, Energia Limpa e Acessível, Vida na Terra sem Contaminações, Trabalho Digno, Crescimento da Economia, Consumo Consciente, Inovação, Produção Limpa, Ações para o Clima e Cidades Inteligentes para melhorar a Saúde e Bem-estar da humanidade na terra.

Nesse contexto, as pesquisas indicam dificuldades de aplicar as ações de uma sustentabilidade global de excelência e os grandes projetos são incertos e complexos. Uma possibilidade é o desdobramento das metas e ações considerando projetos de cidades inteligentes com aplicação de inovações factíveis da I.4.0 nos pilares da sustentabilidade de excelência, buscando colaboração global das metas da Agenda 2030 da ONU.

Assim, através de uma pesquisa exploratória em artigos científicos na base SCOPUS, este artigo tem o objetivo de conceituar o tema apresentado e demonstrar se existe nos projetos uma tendência de pesquisas inovadoras multidisciplinar de aplicações de I.4.0 nas Cidades Inteligentes Sustentáveis (CSS) com base nos pilares da sustentabilidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

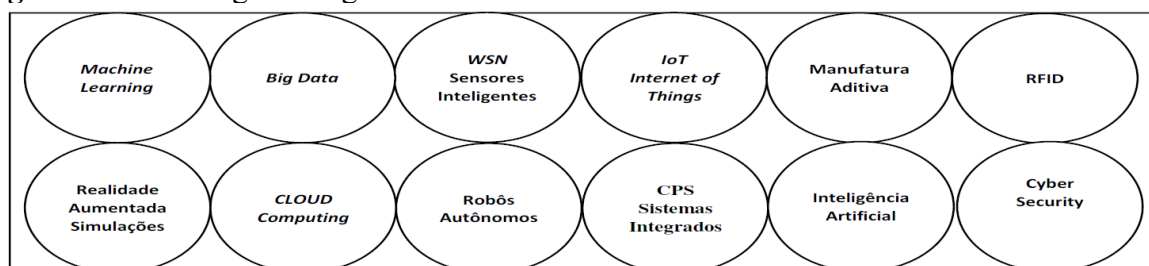
A metodologia da pesquisa utilizada é apresentar um referencial teórico das tecnologias da Indústria (I.4.0), economia circular, cidades Inteligentes sustentáveis e uma pesquisa de

busca dos artigos que mencionam *Industry 4.0 and Sustainable Smart City* em base de dados Scopus, em títulos e resumos, a partir de 2010.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura apresenta a integração das tecnologias da I4.0 na CPS – Cyber Physical System, que através de modelos da internet permite interligar a comunicação e ações dos módulos transformando processos físicos em virtuais. A figura demonstra os módulos integrados das tecnologias da I4.0.

Figura 1 – Tecnologias Integradas



Fonte: Adaptado de Mana (2018) pelo Autor (2022)

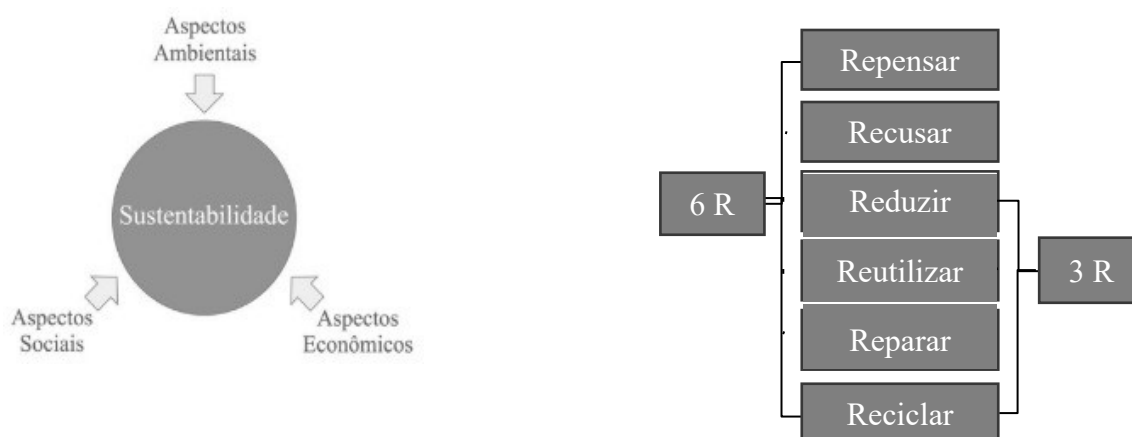
Cada módulo tem funções individualizadas e podem ou não estar integrados entre si, utilizando de recursos da tecnologia da informação e internet.

O conceito de sustentabilidade e princípios 6Rs são apresentados como base da alteração do modelo de economia linear para economia circular com objetivo de cumprir as metas futuras e não levar o planeta a um caos ambiental, e consequentemente social.

“O foco nos 6Rs, como Recuperar, Reutilizar, Remanufaturar, Reciclar, Redesenhar e Reduzir destaca as oportunidades disponíveis na transformação da economia linear para a economia circular, que melhora os direcionadores sociais, econômicos e ambientais da organização.” (MANAVALAN, 2019, p. 477)

As figuras, demonstram a base conceitual para atingir o ápice da economia circular (EC) considerando aspectos da sustentabilidade e os princípios do 6 R.

Figura 2 – Pilares da Sustentabilidade e Princípios do 6Rs



Fonte: Elaborada pelo Autor 2023 adaptada de BARBOSA, (2015)

Segundo Bag (2022), a economia circular traz um conceito que permite a utilização

otimizada de recursos para obter uma sustentabilidade futura.

“Uma economia circular é restauradora e regenerativa por design. Isso significa que os materiais fluem constantemente em um sistema de circuito fechado, em vez de serem usados uma vez e depois descartados.” (ARFELIS, 2022, p. 1)

“O aumento da competição econômica global e a crescente importância das questões ambientais forçam os fabricantes a considerar a implementação de cadeias de suprimentos de circuito fechado, garantindo a recuperação de produtos em fim de vida para reciclagem ou reutilização, porém estão sujeitos a muitas incertezas em seus fluxos, dadas as condições variáveis dos produtos fim de vida.” (DELPLA, 2022, p. 1)

“No mundo da economia circular (EC), o design é uma ferramenta vital para transformar resíduos em riqueza, para aprimorar a reciclagem de materiais para novos produtos (por exemplo, design para modularidade, design para desmontagem, etc.”. (GHOREISHI, 2022, p.1)

“A “desmanufatura”, desmontagem e remanufatura ainda é uma utopia e que sem ela a Economia Circular é deficiente e depende de eliminar as barreiras do pensamento do *design* de produto inicial e prever o final de vida do produto, da cultura das pessoas, da informação, do conhecimento, do custo e do uso de tecnologia futura para realidades futuras da E C. Segundo.” (CAPPELLETTI, 2022, p.1)

A economia circular apresenta os princípios de destino do que é produzido e como é descartado, estende a vida útil do produto desde a concepção de criação, permite reparos e manutenções para nova forma de consumo, aumenta a reciclagem dos componentes e materiais, otimizam os processos produtivos utilizando resíduos como recursos, utiliza água na forma consciente e utilização de energias renováveis, criando uma expectativa social de saúde e bem estar para a humanidade, otimizando resultados econômicos da empresa.

As cidades inteligentes é o uso das tecnologias da I4.0 integradas para melhorar a qualidade de vida das pessoas e suas atividades do dia a dia, otimizando e tornando prática na infraestrutura, na segurança, no transporte, no convívio, na saúde, no acesso aos recursos e em toda a rotinas de vida de toda a sociedade e setores de apoio.

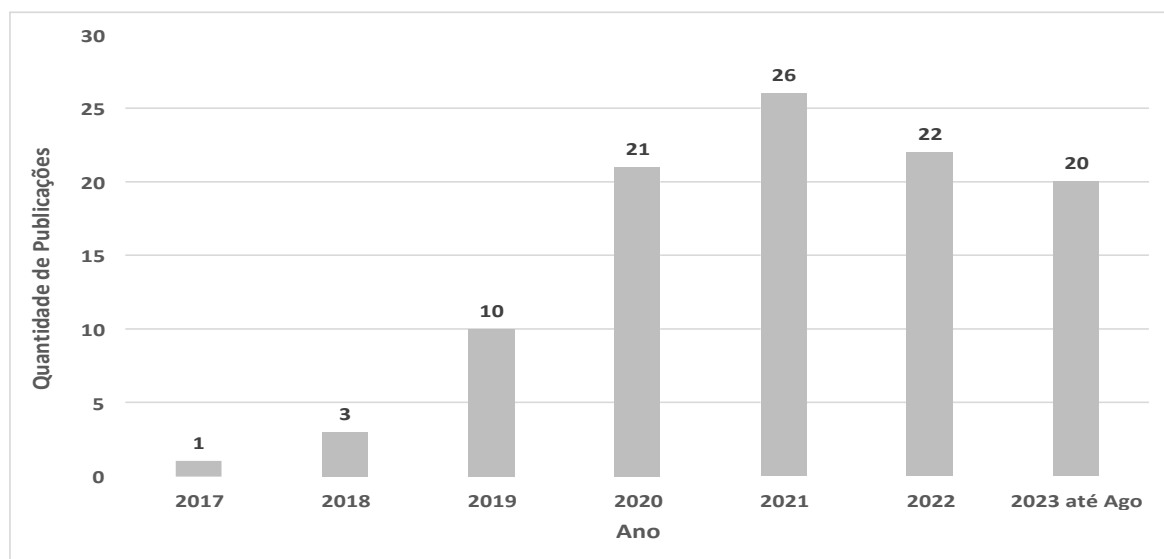
Mas podemos observar que as cidades inteligentes necessitam manter toda otimização necessária para a qualidade de vida da sociedade e tornar integrada a sustentabilidade dos municípios colocando a questão ambiental, social e econômica de forma funcional no conceito *smart* com uso das tecnologias da I4.0 e pilares da EC.

Assim, a *IoT*, os *Smartphones*, as *RFID*, os bancos de dados, os sensores, a integração dos sistemas, a nuvem, a realidade aumentada e a inteligência artificial podem otimizar a gestão ambiental nas cidades para cumprir os pilares da EC perante governo, empresas e sociedade. “O investimento em iniciativas de cidades inteligentes pode aprimorar o planejamento, a capacidade de preparação e a capacidade de resposta às pandemias globais que exigem ações oportunas e integradas e a disponibilidade e aplicação adequada de tais tecnologias podem contribuir para a digitalização de resíduos na era do 4IR, atuando como é uma força motriz para a China, ajudando-a a avançar em direção a estratégias de desenvolvimento de baixo carbono na estrutura da CE.” (KURNIAWAN, 2022, p. 12)

Ainda, as cidades inteligentes Sustentáveis podem aplicar conceitos para educação ambiental, sustentabilidade e pilares de EC e para cadeias de suprimentos a integração de banco de dados, com informações de descarte de subprodutos e reciclagem.

As cidades inteligentes sustentáveis, necessitam fazer o uso das tecnologias da I4.0 para estruturar e operacionalizar as atividades dos pilares da EC, realizando planejamento e planos de ações para melhorar os indicadores ambientais, sociais e econômicos, melhorando a qualidade de vida e alcançando a real sustentabilidade.

O resultado da pesquisa na base *SCOPUS*, listou 104 publicações quando pesquisado as palavras *Industry 4.0 and Sustainable Smart City*, em títulos e resumos, a partir do ano de 2010. O gráfico demonstra a quantidade de publicações ao longo dos últimos anos.



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Pode se observar que as publicações iniciam somente em 2016 com uma tendência crescente em função das tendências mundiais para Cidades Inteligentes Sustentáveis (CIS) com uso de Tecnologias da Indústria 4.0.

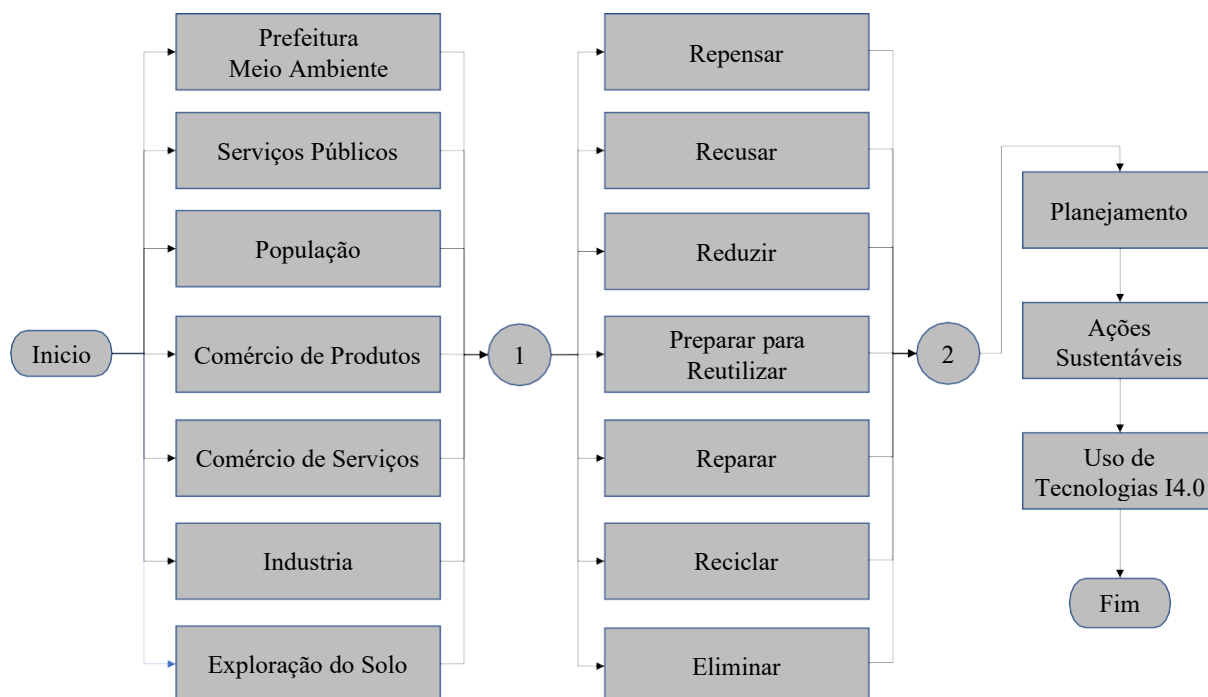
“Os resultados mostram que o Brasil possui um ambiente razoável, institucional e estável, bem como fortes políticas regulatórias para resíduos sólidos que podem estimular a EC no país. No entanto, requer maior comunicação entre os atores, principalmente instituições públicas e privadas, realizando relacionamentos de longo alcance. Além disso, o país requer a consolidação de políticas industriais e investimentos no processo de remanufatura na cadeia de suprimentos. Da mesma forma, apesar da capacidade do Brasil de aproveitar os benefícios da CE, o país apresenta uma enorme falta de qualificação para cumprir as competências que o processo de digitalização exige. Economicamente, o Brasil luta contra uma crise econômica desde 2014 que limitou os investimentos em geral, especialmente no setor industrial. A indústria apresenta baixo desempenho e participação decrescente no PIB, o que leva a constantes transferências da produção para o exterior em decorrência dos altos custos da mão de obra. Limitações/implicações da pesquisa: Os autores podem afirmar que o Brasil está muito atrás dos países desenvolvidos na busca pela capacidade de fornecer EC por meio da mudança industrial tecnológica. Os principais problemas estão relacionados à falta de articulação das esferas pública e privada para promover novos modelos de negócios digitais. Portanto, a estrutura estruturada permite que gestores e agentes públicos forneçam soluções e endurece adequadamente os gargalos da cadeia de suprimentos em economias emergentes. Originalidade/valor: Explorando a relação entre os conceitos de Indústria 4.0 e CE pela lente específica do método estruturalista, este trabalho pode contribuir para a decisão gerencial em países emergentes, olhando em quatro importantes perspectivas: política, econômica, social e tecnológica.” (CEZARINO, 2019, p. 1841)

A proposta de Cidades Inteligentes Sustentáveis (CIS) considera a responsabilidade compartilhada de empresa, dos municípios e dos consumidores em relação ao produto fim de vida, resíduos e subprodutos com base nos pilares da EC, tecnologias da I4.0, ferramentas organizacionais, estrutura da logística reversa, educação ambiental e negócios sustentáveis.

Dessa forma, o planejamento de ações futuras sustentáveis das cidades inteligentes deve

considerar os pilares de EC aplicando o uso de tecnologias da I4.0 com responsabilidade dos Municípios, Sociedade e Empresas conforme figura:

Figura 3: Organizações com base em EC e uso de I4.0 Fonte: elaborado pelo autor (2023)



As organizações devem estruturar para cumprir os pilares da EC e desenvolvimento de programas utilizando as tecnologias da I4.0.

Para a governança da sustentabilidade na sociedade consumidora, o monitoramento e controle ambiental nas CIS onde se encontram a população, é importante uma ação conjunta de governo, empresa e sociedade para dar continuidade de cumprir o SGA com base nos pilares da EC, com possível aplicação das tecnologias da I4.0.

É possível afirmar em função da pesquisa realizada que as empresas, governos e sociedade no mundo devem impulsionar o uso integrado de tecnologias digitais da I4.0 para aplicar nos SGA com base nos pilares da EC para a sustentabilidade.

Algumas citações consideradas importantes na pesquisa, demonstraram as tendências do uso das tecnologias da I4.0 para um futuro promissor desse tema pesquisado.

Um mínimo para início da EC é tentar ao máximo reduzir consumo e se não for possível minimizar, reciclar e reusar produtos, reusar materiais operacionalizando muito bem os aterros sanitários.

As pesquisas propõem ações preventivas e corretivas na concepção e na saída de produtos integrando organizações, governo e sociedade para produto fim de vida, resíduos orgânicos e inorgânicos nas CIS.

4 CONCLUSÃO

Ainda são poucas as pesquisas de utilização na prática de tecnologias da I4.0 em CIS com base nos pilares da EC, mas é possível afirmar que as tendências futuras nas próximas décadas são promissoras para a sustentabilidade no aspecto ambiental, social e econômico.

A utilização das tecnologias da I4.0 para alavancar os pilares da EC em sustentabilidade depende de projetos multidisciplinares entre áreas de TI com especialistas das áreas ambientais,

empresas, governo, municípios, cooperativas, sociedade e uma internet com tecnologias eficientes de baixo custo.

As empresas, governos e sociedade podem utilizar o conhecimento das pesquisas para planejamento, ações futuras e inovações nas soluções de problemas em melhoria da sustentabilidade das CIS.

Os governos devem fornecer estruturas para motivar as empresas, prefeituras e a sociedade a se engajar em ações para cumprir os pilares da EC e utilizar tecnologias da I4.0.

A sociedade deve ter educação ambiental, comunicar informações ambientais e cobrar ações de infraestrutura de logística reversa, cumprindo sua função de sustentabilidade.

Esse artigo, derivado de uma pesquisa de doutoramento ainda não apresenta casos práticos de aplicações de I4.0 com base em pilares de EC nas CIS.

REFERÊNCIAS

ARFELIS, S. . R. J. E. A. Architecture Development to Incorporate Industry 4.0 Solutions to Plastics Management: Circular Economy. Lecture Notes in Networks and Systems, p. 121-127, 2022. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/356423082_Architecture_Development_to_Incorporate_Industry_40_Solutions_to_Plastics_Management_Circular_Economy>.

BAG, S. . E. A. Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework. International Journal of Organizational Analysis, p. 864-898, 2022. Disponível em: <<https://doi-org.ez338.periodicos.capes.gov.br/10.1108/IJOA-04-2020-2120>>.

BARBOSA, M. A. Dissertação Mestrado PPG em Processos Tecnológicos e Ambientais. Sorocaba: Universidade de Sorocaba, 2015.

CAPPELLETTI, F. E. A. How de-manufacturing supports circular economy linking design and EoL - a literature review. Journal of Manufacturing Systems, p. 118-133, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.03.007>>.

CEZARINO, L. O. . E. A. Diving into emerging economies bottleneck: Industry 4.0 and implications for circular economy. Management Decision, p. 1841-1862, 2019. Disponível em: <<https://doi-org.ez338.periodicos.capes.gov.br/10.1108/MD-10-2018-1084>>.

DELPLA, V. E. A. Circular manufacturing 4.0: towards internet of things embedded closed-loop supply chains. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2022. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-021-08058-3>>.

GHOREISHI, M. E. A. The Case of Fabric and Textile Industry: The Emerging Role of Digitalization, Internet-of-Things and Industry 4.0 for Circularity. Lecture Notes in Networks and Systems, p. 189-200, 2022.

KURNIAWAN, T. A. E. A. Transformation of Solid Waste Management in China: Moving towards Sustainability through Digitalization-Based Circular Economy. Sustainability (Switzerland), 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su14042374>>.

MANA, R. Análise da aderência da Indústria 4.0 ao Lean Manufacturing utilizando análise de correspondência múltipla. Dissertação de Mestrado. Limeira: Universidade Estadual de

Campinas Faculdade de Ciências Aplicadas, 2018. Disponível em:
<http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/333055/1/Mana_Renato_M.pdf>. Acesso
em: 2 maio 2019.

MANAVALAN, E. . E. A. An analysis on sustainable supply chain for circular economy.
Procedia Manufacturing, p. 477-484, 2019. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.059>>.

SCOPUS. Scopus. SCOPUS, 1 jun. 2019. Disponível em: <www.scopus.com>. UNDP.
UNDP.org. UNDP, 2023. Disponível em: <<https://www.undp.org/sustainable-development-goals>>. Acesso em: 10 jan. 2023.