

RUMO Á ECONOMIA CIRCULAR INTELIGENTE: MOMENTO ATUAL E DIREÇÕES FUTURAS

TALITA BORGES TEIXEIRA - talitaborgesteixeira@gmail.com
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

TIAGO ESTRELA DA CUNHA MORAES - tiagoestrelam@gmail.com
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

ADRIANO ALVES TEIXEIRA - aatadrianobirigui@gmail.com
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO SUL – UFMS – TRÊS LAGOAS

ANDRÉ LUIZ FRANCISCO – andre.francisco@ufms.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO SUL – UFMS – TRÊS LAGOAS

EDUARDO LOPES PEREIRA - eduardo.l.pereira@unesp.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

ÁREA: *9. ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE*
SUBÁREA: *9.7 – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL*

RESUMO: *OS DESAFIOS GLOBAIS E O CRESCIMENTO POPULACIONAL RESULTAM EM UM AUMENTO DA PROCURA DE RECURSOS E GERAÇÃO DE RESÍDUOS. A ECONOMIA CIRCULAR SE TORNA ESSENCIAL PARA A SOBREVIVÊNCIA DAS ESPÉCIES. AS ORGANIZAÇÕES ESTÃO SENDO PRESSIONADAS A REPENSAR SUAS ESTRATÉGIAS, PARA ATENDIMENTO DA SUSTENTABILIDADE E AGENDA 2030. A DIGITALIZAÇÃO ADVINDA DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL É ESSENCIAL PARA A TRANSIÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR TRADICIONAL PARA A ECONOMIA CIRCULAR INTELIGENTE. DIANTE DISSO, O OBJETIVO DESTA PESQUISA É IDENTIFICAR, CLASSIFICAR E ESTRUTURAR ARTIGOS ACADÊMICOS SOBRE A ECONOMIA CIRCULAR INTELIGENTE, BUSCANDO IDENTIFICAR DIREÇÕES, DESAFIOS, LACUNAS E SUGERINDO PESQUISAS FUTURAS. PARA ISSO FOI REALIZADA UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA, PESQUISAS SIGNIFICANTES FORAM SELECIONADAS, CLASSIFICADAS E CATEGORIZADAS. OS RESULTADOS DEMONSTRAM A IMPORTÂNCIA DO AVANÇO DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR COM MAIOR VALOR AGREGADO, PODENDO TRAZER VANTAGENS COMPETITIVAS PARA AS ORGANIZAÇÕES EM SEU DESEMPENHO A CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO. ALÉM DISSO, HÁ SETORES, PAÍSES, QUE ESTÃO MAIS AVANÇADOS EM RELAÇÃO AO TEMA, OPORTUNIZANDO AMPLO CAMPO DE ESTUDOS. POR SER UM TEMA RECENTE, MAIS ESTUDOS SÃO NECESSÁRIOS. A MAIOR CONTRIBUIÇÃO DESTA PESQUISA É RELACIONADA AS RECOMENDAÇÕES DE PESQUISAS FUTURAS*

PALAVRAS-CHAVES: *MANUFATURA; AGENDA 2030; SUSTENTABILIDADE; REVOLUÇÃO INDUSTRIAL; TECNOLOGIA*

1 INTRODUÇÃO

Estudos recentes demonstram que até 2050 a população urbana representará 70% da população global (OECD, 2021), resultando em um aumento da procura de recursos e geração de resíduos das cidades (Onesmo, Mabhuye, Ndaki, 2024). Assim, visando a sustentabilidade das gerações futuras, em março de 2017, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS´s) (Coscieme et al., 2021). Organizações em todo mundo precisam se empenhar e repensar as suas prioridades estratégicas buscando fortalecer seu desempenho não financeiro e a sustentabilidade (Truant et al., 2024).

Para alcançar o desenvolvimento sustentável, é preciso adotar uma abordagem circular para as matérias-primas (OECD, 2021). A economia circular transforma o tradicional modelo linear de extração, processamento e descarte em um sistema circular onde o design do produto é planejado desde o início possibilitando a reutilização e reciclagem no seu final de vida útil (Yang et al., 2019), porém estudos tem demonstrado que a transição da EC está em sua fase inicial (Stucki, Woertes, Loumeau, 2023), devido a algumas barreiras, sendo uma delas a tecnológica (Trevisan et al., 2023; Lobo et al., 2021).

As indústrias estão experimentando a quarta revolução industrial o que as pressiona a repensar suas estratégias passando da EC tradicional para a EC inteligente (Gonvidan, 2023). Atualmente é impossível a transição para a EC sem adoção de tecnologias digitais (por exemplo, Internet das Coisas [IoT], simulação, blockchain), já que essas tecnologias permitem novas alternativas para a otimização dos recursos e aumento da produtividade (Kristoffersen et al., 2020). Uma vez que as ferramentas de análise preditiva, monitoramento e rastreamento proporcionadas pela digitalização pode transformar as empresas em direção a EC (Chauhan, Sharma, Singh, 2021)

A economia circular inteligente caracteriza-se como "*um sistema industrial que utiliza Tecnologias Digitais (TDs) para fornecer funções inteligentes para a implementação de estratégias circulares de valor agregado*" (Lobo et al. 2021) é uma oportunidade para as indústrias, pois pode aperfeiçoar o fluxo de dados derivados de materiais, componentes e produtos no ciclo de vida e contribuir para o desenvolvimento sustentável (Govindan, 2023).

A transferência de tecnologia bem-sucedida e processos de investigação experimental para a indústria está sendo um dos desafios mais significativos e necessários para a redução de custos, exploração das economias de escala, oportunizar a gestão de processos e desenvolvimento de sinergias entre diversos setores da indústria para a implementação de economia circular inteligente (Ferrari et al., 2024), o que pode afetar a transição para a EC (Trevisan et al., 2023).

Conhecer como estão os estudos sobre economia circular inteligente são necessários (Lobo et al., 2021), a literatura carece de investigações abrangentes de artigos acadêmicos (Truant et al. 2024), é considerada uma abordagem promissora para a aumentar a sustentabilidade (Lobo et al. 2021), portanto esta pesquisa é orientada pela seguinte questão: Quais são as tendências de pesquisas sobre economia circular inteligente?

Assim, a principal motivação deste estudo consiste em identificar, na base de dados Scopus e Web of Science, os artigos mais pertinentes relacionados ao tema em questão, para uma análise mais abrangente, classificando e codificando esses artigos, fornecendo um breve resumo dos principais resultados e uma agenda de pesquisa. Esta análise contribui significativamente para o avanço do tema economia circular inteligente, exercendo influência nas decisões de governos, pesquisadores, empresas e gestores

2 ECONOMIA CIRCULAR INTELIGENTE

Na análise histórica contida no desenvolvimento de estrutura e processo da EC, em virtude dos avanços das Tecnologias Digitais (TD), e da integração dos mecanismos digitais principalmente em função dos processos industriais de pequenas, médias e grandes manufaturas encontra-se a pesquisa e o desenvolvimento de um termo atualmente praticado, denominado Economia Circular Inteligente (ECI) (Lobo et al., 2021).

A ECI é compreendida como sendo um processo fundamentado na CE e moldado através da TD consiste em fornecer um processo informacional principalmente voltado para a indústria que utiliza mídias digitais contribuindo diretamente no fomento e melhoramento de estratégias organizacionais que promovam valor agregado se tornando assim um instrumento metodológico capaz de também de proporcionar soluções aos desafios da sociedade atual em relação a sustentabilidade (Lobo et al., 2021; Behl et al., 2023; Govindan, 2023).

Já bem cristalizada, a ECI, para chegar a sua atual maturidade teve inúmeras contribuições digitais que proporcionaram a sua integração com EC (Chauhan, Parida, Dhir, 2022; Dwivedi et al., 2023; Lobo et al., 2021; Mboli et al., 2022). Inicialmente, observa-se que as TD apresentam contribuições tangíveis para a performance financeira assim como para atendimento de decisões vinculadas a operação e circularidade (Mboli et al., 2022). Outra contribuição visível é que as tecnologias digitais proporcionam a tradução de circularidade em práticas sustentáveis Kintscher et al., (2020), os destaques obtidos através de dados ancorados nas tecnologias digitais possibilitam assim o maior desempenho ambiental de organizações, ações departamentais mais efetivas, operações mais sustentáveis envolvendo estoques e prospecção de mercado, bem como encontrar formas integradas de reciclar e reutilizar e reduzir

o desperdício prolongando a vida útil dos produtos na integração digital de informações preditivas (Garcia-Muiña et al., 2019; Chauhan, Parida, Dhir, 2022).

Através de pesquisas, estudos e ensaios compreende-se que a aplicabilidade da ECI tem a finalidade primordial em trazer celeridade e integração as demandas organizacionais e comportamentais observadas através de indicadores na organização (Agrawal et al. 2023). Esses indicadores, como o de poluição, de esgotamento de recursos e degradação ambiental, engajamento de colaboradores, cultura organizacional, comportamento organizacional são indicadores que levam a procurar da SCE pelas organizações (Lobo et al., 2021).

Em reflexo a estes questionamentos alguns estudos identificam desafios que permeiam as organizações rumo às transições ECI (Kumar et al., 2021); Lobo et al., 2021) os desafios mais observados são a falta de modelos de negócios eficazes, sistemas de medição de desempenho e estruturas para implementação de ECI (Yang et al., 2023), preocupações sobre a viabilidade a longo prazo da implementação de DT no ECI, elevado consumo de energia, problemas de escalabilidade, elevados custos operacionais, falta de normalização e problemas de compatibilidade com modelos de negócio (Ghiaci e Ghoushchi, 2023).

Estes desafios, podem ainda se tornarem questões pontuais que levam a agravamentos quando há um número significativo de barreiras externas como a falta de apoio regulamentar por parte dos órgãos governantes, deficiência nas estruturas da Internet (Ghiaci e Ghoushchi, 2023), comportamento ecológico do consumidor insuficiente Rejeb et al., (2022), elevada concorrência de mercado por parte de entidades de modelo de negócio linear tradicional Chaouni Benabdellah et al., (2023) e regulamentações ambientais onerosas (Chaudhary et al., 2021).

3 MÉTODO

Para obter o aprofundamento da literatura sobre Economia Circular Inteligente, foi realizada uma revisão de literatura, após, construída uma string de pesquisa, conforme tabela 1, segundo sugere Lages Lages Junior e Godinho filho (2010). Foram utilizadas as bases de dados *Scopus* e *Web of Science* são as bases mais utilizadas em pesquisas bibliográficas por pesquisadores mundiais (Guz; Rushchitsky, 2009) por identificarem os estudos mais relevantes entre economia circular e tecnologias digitais (Pagoropoulos; Pigosso; Mcaloone, 2017).

Como o tema é recente (Kristoffersen et al., 2020; Brassaneli et al., 2022), restringimos a periódicos e periódicos de revisões, pois, são comumente utilizados para relatar novas

descobertas (Ngai et al., 2008) e consideramos títulos, resumos e palavras-chave sem exclusão de anos de pesquisa,

A revisão de literatura deve manter o rigor e a replicabilidade dos resultados (Chauhan, Parida, Dhir, 2022). O intuito é aprofundar o termo "Economia Circular Inteligente". Vale ressaltar que essa busca foi realizada em junho de 2024.

TABELA 1 - String da pesquisa de banco de dados

Item	Descrição
Período de análise	Junho-2024
Operadores booleanos	AND entre palavras-chave. OU entre pesquisa de banco de dados.
Palavras-chave usadas em pesquisas	"smart circular economy".
Banco de dados de pesquisa	"Web of Science e Scopus" foram pesquisados títulos, resumos e palavras-chave.
Língua	Todas
Disponibilidade	Somente artigos e Revisões.
Disciplina de pesquisa	Todas.
Ferramentas de software	MS Excel VOSviewer Blibliosshiny
Número total de artigos avaliados	15

Fonte: Elaborado pelos autores

Um total de 15 artigos no Scopus e 17 no Web of Science foram inicialmente identificados, após a exclusão dos repetidos, e de artigos que não se relacionavam com o tema, restaram 15 artigos para análise.

Foi posteriormente coletado várias informações: sobre os autores, países, anos de publicação, fonte e palavras-chave e então em banco de dados e analisados por meio de análise estatística descritiva no MS Excel consistente com as pesquisas de revisão de literatura relacionadas (Sequeira e Santos, 2018), foi analisado também com o VOSviewer (Gaur; Kumar , 2018) e o Biblioshiny (Dias; Carvalho; Sampaio, 2022).

Foi então criado um sistema de classificação e codificação como Teixeira et al. 2020 e Jabbour, 2013, conforme tabela 2:

TABELA 2 – Classificação e codificação

Classificação	Significado	Código	Fonte
1	Contexto do país	A – Desenvolvido; B – Emergente; C – Não aplicável	Teixeira et al. 2020; Jabbour, 2013
2	Tipo de Pesquisa	A – Quantitativo; B – Qualitativo; C – Quantitativo e qualitativo; D – Outro	
3	Método de Pesquisa	A – Estudo de Caso; B – Survey; C – Revisão; D – Estudo de caso e Survey; E – Outro	
4	Atividade econômica	A - Agricultura, silvicultura e pesca; B - Mineração e pedreira; C – Fabricação; D - Fornecimento de eletricidade, gás, vapor e ar-condicionado; E - Abastecimento de água; esgoto, gestão de resíduos e atividades de remediação; F – Construção; G - Comércio atacadista e varejista; conserto de veículos motorizados e motocicletas; H - Transporte e armazenamento; I - Atividades de hospedagem e alimentação; J - Informação e comunicação; K -	(ISIC/ONU, 2024)

		Atividades financeiras e de seguros; L - Atividades imobiliárias; M - Atividades profissionais, científicas e técnicas; N - Atividades de serviços administrativos e de suporte; O - Administração pública e defesa; previdência social obrigatória; P – Educação; Q - Atividades de saúde humana e serviço social; R - Artes, entretenimento e recreação; S - Outras atividades de serviço; T - Atividades das famílias como empregadores; atividades de produção de bens e serviços não diferenciadas das famílias para uso próprio; U - Atividades de organizações e órgãos extraterritoriais; V - Não aplicável	

Fonte: Elaborado pelos autores

Os 15 artigos foram classificados e codificados conforme demonstrado na Tabela 3, usando as dimensões da Tabela 2. Na seção seguinte é demonstrado cada aspecto classificado e codificado (Etapa 4) e principais lacunas e possibilidades de pesquisas futuras.

TABELA 3 – Classificação e codificação dos estudos realizados

Item	Estudo	Contexto do país	Tipo de pesquisa	Método de Pesquisa	Atividade econômica
1	Onesmo, Mabhuye, Ndaki (2024)	1B	2B	3A	4S
2	Ferrari et al (2024)	1C	2B	3C	4V
3	Sosnowski (2024)	1C	2B	3C	4V
4	Truant et al. (2024)	1C	2B	3C	4V
5	Langley et. al (2023)	1C	2B	3E	4V
6	Govindan (2023)	1B	2B	3A, 3E	4C
7	Trevisan et al (2023)	1B	2B	3A, 3C	4E
8	Hoyng (2023)	1A	2B	3E	4E
9	Bressanelli et al (2022)	1C	2B	3C	4V
10	Salminen et al (2022)	1A	2B	3A, 3C	4E, 4B, 4A, 4C, 4S
11	Kristoffersen, Mikalef, Blomsma (2021a)	1C	2B	3A, 3C	4S, 4G
12	Fraga-Lamas, Lopes, Fernández-Caramés (2021)	1A	2B	3C	4C
13	Kristoffersen, Mikalef, Blomsma (2021b)	1A	2C	3D	4C, 4S, 4G, 4J
14	Kumar et al (2021)	1C	2B	3E	4E
15	Kristoffersen et al (2020)	1C	2B	3C	4V

FONTE: Elaborado pelos autores

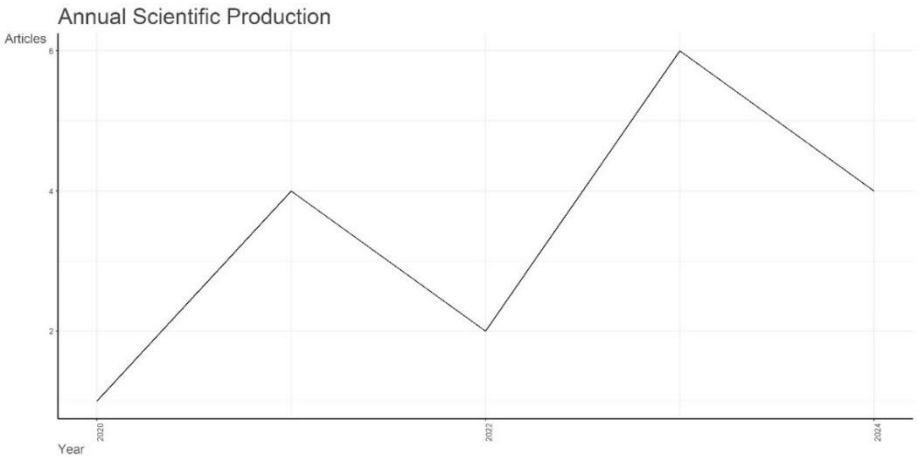
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Truant et al., 2024, a economia circular inteligente é útil para abordar questões globais, oferecendo benefícios e progressos no desempenho econômico, social e ambiental das organizações.

A Figura 1 demonstra a quantidade de artigos publicados ao longo do período, utilizando o software Biblioshiny. É importante verificar que os estudos relacionados a economia circular inteligente são recentes, sendo pesquisados mais profundamente nos últimos 4 anos, não há também

evidência de artigos que revisaram o termo “Smart circular economy” de forma efetiva tornando essa pesquisa inédita, demonstrando que o tema está no auge do conhecimento. O primeiro artigo foi um estudo conduzido por Kristoffersen et al. (2020) através de uma revisão, efetuou um quadro conceitual sobre economia circular inteligente que demonstra como as tecnologias digitais podem ser aplicadas para capturar o potencial máximo das estratégias circulares visando a melhoria da eficiência dos recursos e a produtividade, contribuindo assim também para o desenvolvimento sustentável.

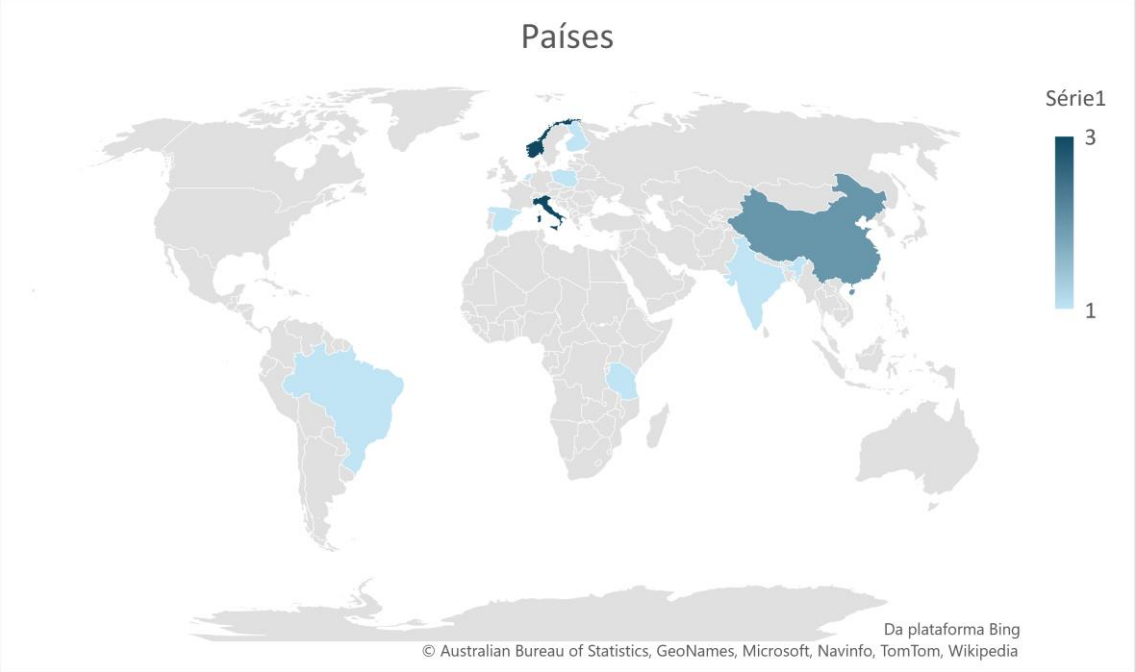
FIGURA 1 – Publicação de tendência nesta área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores

Utilizando o software “Excel” foi criado um “gráfico coroplético” (Figura 2), indicando o acoplamento por país pela afiliação dos autores, o mapa mostra o local de publicação desses artigos. A cor mais escura “azul” demonstra maior nível de contribuição de cada país. Pode-se perceber que a Itália e a Noruega são os países que mais contribuíram para a literatura sobre Economia Circular Inteligente com 3 artigos de cada país, posteriormente a China com 2 contribuições. O mapa também mostra grande dispersão de publicações nos países como Espanha, Brasil, Polônia, Tanzânia, Holanda, Índia e Finlândia (cada país com 1 contribuição), mostrando o crescimento do tema em diversos países.

FIGURA 2 - Contribuição por Países

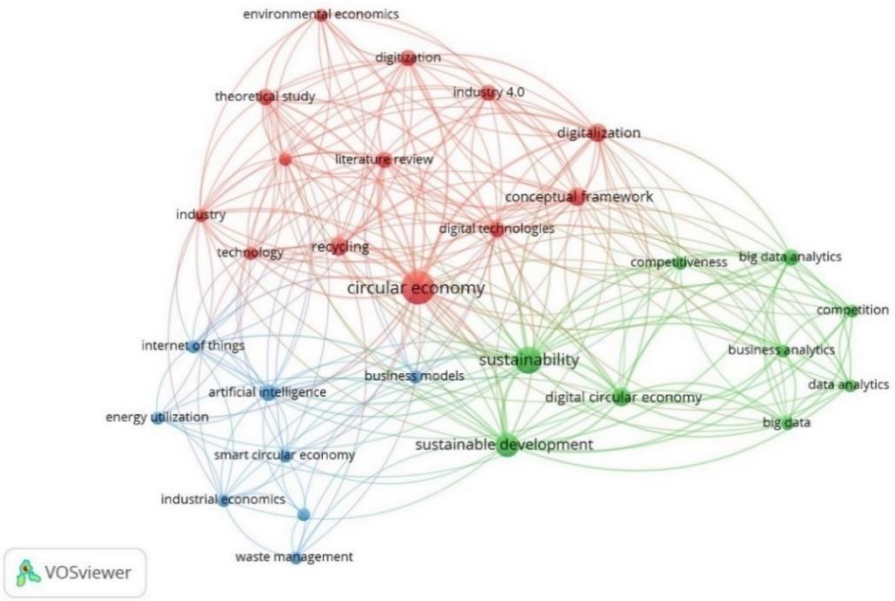


Fonte: Elaborado pelos autores

Foi feito um estudo dos artigos com maior citação. De acordo com a análise o artigo mais citado foi de Kristoffersen et al (2020) com 353 citações este artigo os autores conceituaram através de um quadro a economia circular inteligente e demonstraram que as tecnologias digitais podem capturar ao máximo estratégias circulares. Posteriormente temos o artigo do mesmo autor Kristoffersen et al (2021b) com 145 citações o artigo revela que a correta gestão de recursos de capacidade de negócios alinhados com as tecnologias digitais serão essenciais para as organizações na transição para a EC, obtendo vantagem competitiva, no novo cenário mundial.

Visando identificar a co-ocorrência das palavras-chave foi feito uma análise usando o software VOSviewer. A figura 3 mostra o número de documentos em que as palavras ocorrem juntas. As palavras-chave mais utilizadas pelos artigos analisados foram “circular economy”, “sustainability”, “sustainable development”, “recycling”, “conseptual framework”, “digital circular economy” e “digitalization”, percebe-se que há forte interação entre estes subtemas.

FIGURA 3 – Co-ocorrência de palavras-chave



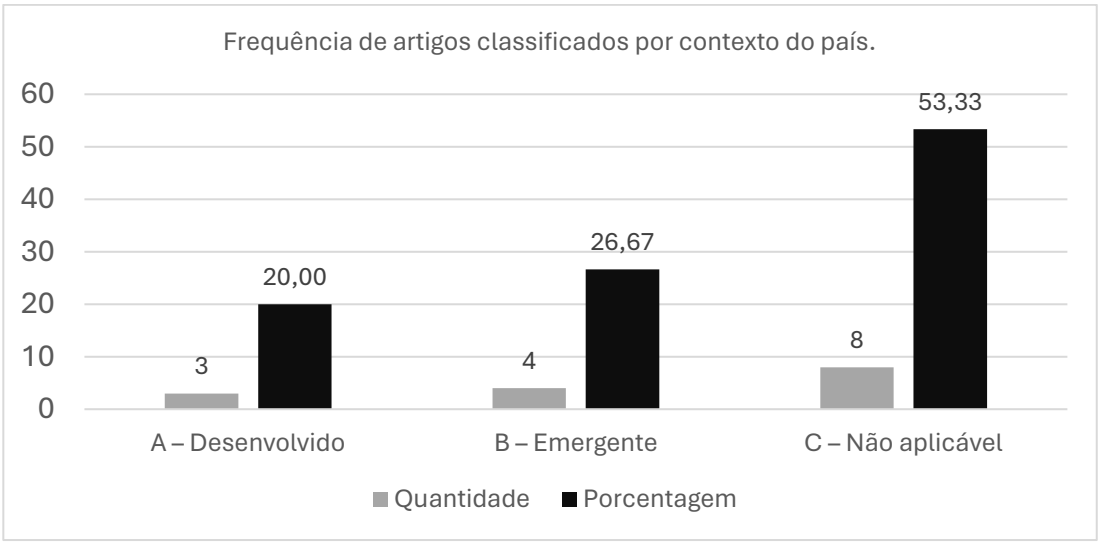
Fonte: Elaborado pelos autores

4.1 Dimensões analisadas

5.1.1 Contexto do país

A análise demonstrou que Economia Circular Inteligente por ser um tema emergente (Truant et al., 2024) que a maioria dos artigos não foram em um contexto específico, como os artigos conceituais e de revisão (53,85%), conforme mostra a figura 4. Os países em desenvolvimento tiveram maior número de publicações (26,67%) comparados com os países desenvolvidos (20,0%). Além disso, nenhum dos artigos comparou o tema entre países em contextos diferentes e nem foi identificado as barreiras e oportunidades nestes contextos. Esses achados levaram à primeira e a segunda recomendação do presente estudo:

FIGURA 4 – Frequência de artigos classificados por contexto



Fonte: Elaborado pelos autores

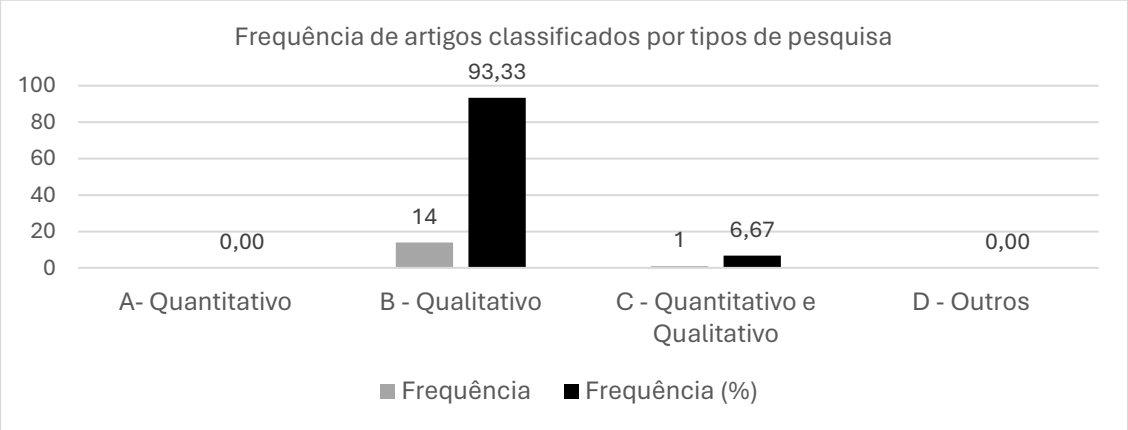
R1: Realizar mais estudos em países em desenvolvimento e desenvolvidos e comparar diferentes contextos para entender como eles podem influenciar o nível de integração da Economia Circular inteligente.

R2: Realizar mais estudos em países em desenvolvimento e desenvolvidos buscando identificar quais desafios e oportunidades podem existir em contextos diferentes.

4.1.2 Tipos de pesquisa

Com o objetivo de verificarmos os tipos de pesquisa envolvendo o tema economia circular inteligente uma análise foi realizada, conforme figura 5. A pesquisa demonstrou que os artigos que abordaram economia circular inteligente são na sua maioria do tipo qualitativo (93,33%) . Apenas (6,67%) dos artigos utilizaram tipos de pesquisa quantitativa e qualitativa e (0%) efetuou uma análise quantitativa somente, portanto a terceira e a quarta recomendações são propostas:

FIGURA 5 - Frequência de artigos classificados por tipos de pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores

R3: Utilizar tipos de pesquisa quantitativa e qualitativa para melhor entendimento da economia circular inteligente e suas contribuições e desafios.

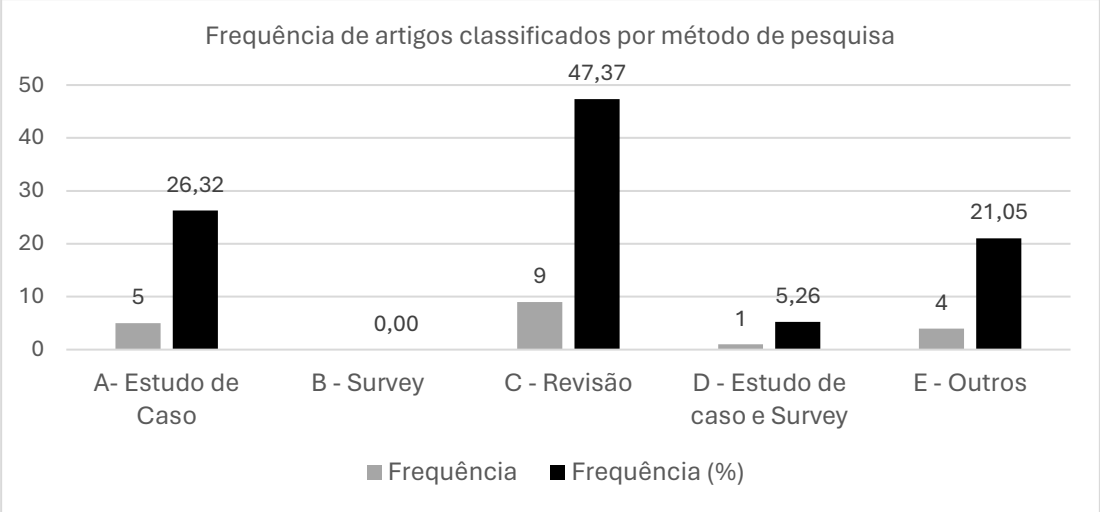
R4: São necessários mais pesquisas empíricas, ou seja, quantitativas visando aprofundar os estudos sobre economia circular inteligente.

4.1.3 Métodos de pesquisa

Através desta análise foi possível identificar que artigos que abordaram economia circular inteligente são pesquisas de revisão (47,37%), seguidos de estudos de caso (26,32%). Apenas 1 artigo incluiu estudo de caso e survey, conforme figura 6, é possível verificar que o total de frequência de artigos foram 19, pois alguns artigos utilizaram 2 métodos de pesquisa. Nenhum dos artigos utilizou um estudo empírico único do tipo survey. É importante verificar outros tipos de método como abordagem transdisciplinar de inovação, abordagens de tomada de decisão

multicritério, abordagem conceitual, abordagem MATLAB, portanto a terceira e quarta recomendação desta pesquisa são:

FIGURA 6 - Frequência de artigos classificados por método de pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores

R3: É necessário adotar métodos mistos principalmente estudos de caso e survey visando aprofundamento sobre o tema economia circular inteligente.

R4: Adotar métodos pouco utilizados como survey para uma melhor visualização da prática da economia circular inteligente para maior contribuição para as organizações.

4.1.4 Setor analisado e foco dos artigos

Para verificar quais atividades econômicas foram analisadas nos estudos, uma análise foi feita dos 15 artigos, foram encontradas 23 atividades econômicas, pois alguns artigos abordaram mais de um setor em suas pesquisas. Destaque para 6 estudos (26,09%) não foram focados em nenhum setor, por serem artigos de revisão ou de conteúdo. O segundo maior levantamento foi na categoria E (Abastecimento de água; esgoto, gestão de resíduos e atividades de remediação), S (Outras atividades de serviço), C (Fabricação) com 4 abordagens (17,39%) cada uma. Em seguida temos a categoria G (Comércio atacadista e varejista; conserto de veículos motorizados e motocicletas) com 2 abordagens cada (8,70%). As demais categorias tiveram 1 abordagem cada (4,35%) são elas: B (Mineração e pedreira) e A (Agricultura, silvicultura e pesca). Percebe-se que por ser um tema recente, houve muitos artigos de revisão (Ferrari et al., 2024; Sosnowski, 2024; Truant et al., 2024; Trevisan et al., 2023; Bressanelli et al., 2022; Salminen et al., 2022; Kristoffersen, Mikalef, Blomsma, 2021a; Fraga-Lamas, Lopes, Fernández-Caramés, 2021; Kristoffersen et al., 2020).

Apesar de contribuições significativas no setor de fabricação e serviços muitos são relacionados aos setores de reciclagem e resíduos (Trevisan et al., 2023; Hoyng 2023; Salminen et

al., 2022; Kristoffersen, Mikalef, Blomsma, 2021a e Kumar et al., 2021), não foram analisados os setores de remanufatura, onde estudos seriam interessantes, pois, além de ser um setor importante para o avanço da EC (Dahmani et al., 2021) a tecnologia poderia permitir as empresas resolverem reveses acerca da remanufatura através da diminuição de etapas e tempo necessário para os processamentos longos e instáveis, também não foram abordadas as PME´s onde estudos confirmam que a inclusão dos conceitos de Indústria 4.0, Produção Mais Limpa e Economia Circular oferecem uma oportunidade de negócios sinérgica que pretende retribuir o desenvolvimento sustentável melhorando a gestão ambiental, a eficiência da produção e o desenvolvimento socialmente sustentável para as PME´s (Lu et al., 2020).

Somente dois estudos abordaram a cadeia de suprimentos Kumar et al (2024) e Sosnowski (2024), onde estudos são importantes visando a eficiência, maximização de lucros e o rastreamento de produtos no final de vida útil, tomando-a mais competitiva (Nasir et al., 2017), dois artigos efetuaram pesquisas buscando a contribuição da ECI para os objetivos de desenvolvimento sustentável (Kristoffersen et al. (2020) e Govindan (2023). Percebe-se que somente um artigo (Ferrari et al., 2021) analisou o setor da agricultura, visto que este setor traz impactos negativos expressivos ao meio ambiente, afetando assim a biodiversidade (Peyraud et al., 2020; Ferrari et al., 2024) e somente um analisou o setor têxtil (Govindan, 2023), esse setor é conhecido por gerar impactos elevados (Christensen, 2021), depois do petróleo a indústria têxtil é a segunda mais poluente (United Nations, 2019). Diante estes contextos a quinta, sexta, sétima, oitava e nona recomendações são propostas:

R5: Investigar a ECI em setores que não foram pesquisados como a PME´s.

R6: Verificar ECI em setores importantes para a EC como o setor de remanufatura.

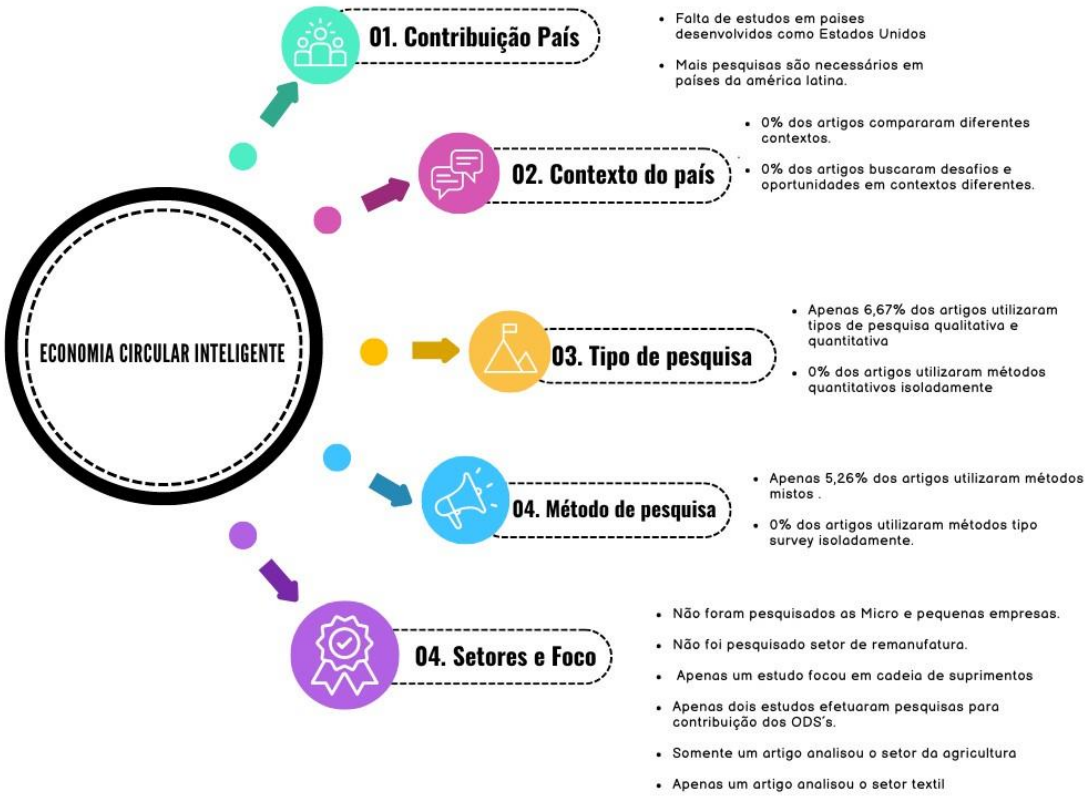
R7: Necessário pesquisas em cadeia de suprimentos, onde é sabido que estudos que integram a economia circular melhoram a gestão sustentável e obtém vantagem competitiva.

R8: São necessários estudos que integrem a ECI aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS´s), para avanço da agenda 2030.

R9: São necessários estudos em setores pouco analisados como a agricultura e o têxtil, pois, além de serem setores bem complexos e difíceis de análise, são altamente poluentes.

A figura 7 resume as dimensões analisadas neste estudo e os gaps da literatura sobre Economia Circular Inteligente (ECI).

FIGURA 7: Dimensões e gaps da literatura



Fonte: elaborado pelos autores

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários estudos comprovam que as tecnologias digitais são necessárias para o avanço da economia circular (Kristoffersen et al., 2020; Kumar et al., 2021; Bressanelli et al., 2021), pois podem ser aplicadas para capturar ao máximo do potencial das estratégias circulares (Kristoffersen et al., 2020), para tanto este estudo buscou contribuir para esse tema através de uma revisão de literatura utilizando as bases de dados Scopus e Web of Science, um total de 15 artigos foram selecionados e permitiram traçar um panorama sobre a pesquisa de economia circular inteligente e apresentar sugestões de pesquisa futuras.

Assim este trabalho contribui para a teoria, pois a economia circular inteligente é um tema emergente (Truant et al., 2024) e carece de mais estudos, para a indústria que necessita criar estratégias e avançar tecnologicamente para a implementação da EC bem-sucedida (Agrawal et al. 2023) e para os governos que precisa incluir e facilitar a EC através do apoio e subsídio de tecnologias, visto ser uma barreira expressiva para a implementação da ECI (Ghiaci; Ghoushchi, 2023). Para pesquisas futuras seria interessante verificar quais tecnologias viabilizam de fato a implementação da economia circular.

Apesar de todos os esforços esta pesquisa possui limitações: a primeira é devido ao baixo número de artigos analisados (15 artigos), para superar essa limitação, poderiam ser

pesquisadas outras palavras chaves conjuntas como identificadas neste artigo, ou seja, "circular economy", "sustainability", "sustainable development", "recycling", "conseptual framework", "digital circular economy" e "digitalization", visando identificar maior abrangência de artigos. Vale lembrar que este trabalho buscou somente artigos que realmente abordavam o termo "economia circular inteligente", portanto, seus resultados podem contribuir significativamente para pesquisas futuras.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, Rohit et al. Opportunities for disruptive digital technologies to ensure circularity in supply Chain: A critical review of drivers, barriers and challenges. **Computers & Industrial Engineering**, v. 178, p. 109140, 2023.

BRESSANELLI, Gianmarco et al. Towards the smart circular economy paradigm: A definition, conceptualization, and research agenda. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 4960, 2022.

BEHL, Abhishek et al. Analysis of Industry 4.0 and circular economy enablers: A step towards resilient sustainable operations management. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 189, p. 122363, 2023.

CHAUHAN, Chetna; SHARMA, Abhishek; SINGH, Amol. A SAP-LAP linkages framework for integrating Industry 4.0 and circular economy. **Benchmarking: An International Journal**, v. 28, n. 5, p. 1638-1664, 2021.

CHAUHAN, Chetna; PARIDA, Vinit; DHIR, Amandeep. Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 177, p. 121508, 2022.

COSCIEME, Luca; MORTENSEN, Lars F.; DONOHUE, Ian. Enhance environmental policy coherence to meet the Sustainable Development Goals. **Journal of Cleaner Production**, v. 296, p. 126502, 2021.

CHAUDHARY, Sanjay et al. Trust and reputation in family businesses: A systematic literature review of past achievements and future promises. **Journal of Business Research**, v. 137, p. 143-161, 2021.

CHAOUNI BENABDELLAH, Abla et al. Blockchain technology for viable circular digital supplychains: an integrated approach for evaluating the implementation barriers. **Benchmarking: An International Journal**, v. 30, n. 10, p. 4397-4424, 2023.

CHRISTENSEN, Thomas Budde. Towards a circular economy in cities: Exploring local modes of governance in the transition towards a circular economy in construction and textile recycling. **Journal of Cleaner Production**, v. 305, p. 127058, 2021.

DAHMANI, Noureddine et al. Smart circular product design strategies towards eco-effective production systems: A lean eco-design industry 4.0 framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 320, p. 128847, 2021.

DIAS, Ana Margarida; CARVALHO, André M.; SAMPAIO, Paulo. Quality 4.0: literature review analysis, definition and impacts of the digital transformation process on quality. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 39, n. 6, p. 1312-1335, 2022.

DWIVEDI, Yogesh K. et al. Evolution of artificial intelligence research in Technological Forecasting and Social Change: Research topics, trends, and future directions. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 192, p. 122579, 2023.

FERRARI, Giovanni et al. Biorefinery development in livestock production systems: Applications, challenges, and future research directions. **Journal of Cleaner Production**, p. 140858, 2024.

FRAGA-LAMAS, Paula; LOPES, Sérgio Ivan; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M. Green IoT and edge AI as key technological enablers for a sustainable digital transition towards a smart circular economy: An industry 5.0 use case. **Sensors**, v. 21, n. 17, p. 5745, 2021.

GARCIA-MUIÑA, Fernando 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.

GAUR, Ajai; KUMAR, Mukesh. A systematic approach to conducting review studies: An assessment of content analysis in 25 years of IB research. **Journal of World Business**, v. 53, n. 2, p. 280-289, 2018.

GHIACI, Ali Memarpour; GHOUSHCHI, Saeid Jafarzadeh. Assessment of barriers to IoT-enabled circular economy using an extended decision-making-based FMEA model under uncertain environment. **Internet of Things**, v. 22, p. 100719, 2023.

GOVINDAN, Kannan. How digitalization transforms the traditional circular economy to a smart circular economy for achieving SDGs and net zero. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 177, p. 103147, 2023.

GUZ, Alexander N.; RUSHCHITSKY, Jeremiah J. Scopus: A system for the evaluation of scientific journals. **International Applied Mechanics**, v. 45, p. 351-362, 2009.

HOYNG, Rolien. Ecological ethics and the smart circular economy. **Big Data & Society**, v. 10, n. 1, p. 20539517231158996, 2023.

ISC-ONU disponível em: https://unstats.un.org/unsd/classifications/Econ/isic. Acesso em 12/06/2024

JABBOUR, Charbel José Chiappetta. Environmental training in organisations: From a literature review to a framework for future research. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 74, p. 144-155, 2013.

LANGLEY, David J. et al. Orchestrating a smart circular economy: Guiding principles for digital product passports. **Journal of Business Research**, v. 169, p. 114259, 2023.

LOBO, Ana et al. Barriers to transitioning towards smart circular economy: A systematic literature review. In: **Proceedings of the International Conference on Sustainable Design and Manufacturing**. Singapore: Springer Singapore, 2021. p. 245-256.

LU, Jintao et al. Modified Carroll's pyramid of corporate social responsibility to enhance organizational performance of SMEs industry. **Journal of cleaner production**, v. 271, p. 122456, 2020.

NGAI, E. W. T. et al. RFID research: An academic literature review (1995–2005) and future research directions. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 2, p. 510-520, 2008.

KINTSCHER, Lars et al. Recycling 4.0-Digitalization as a Key for the Advanced Circular Economy. **J. Commun.**, v. 15, n. 9, p. 652-660, 2020.

KRISTOFFERSEN, Eivind et al. The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. **Journal of business research**, v. 120, p. 241-261, 2020.

KRISTOFFERSEN, Eivind et al. Towards a business analytics capability for the circular economy. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 171, p. 120957, 2021a.

KRISTOFFERSEN, Eivind et al. The effects of business analytics capability on circular economy implementation, resource orchestration capability, and firm performance. **International Journal of Production Economics**, v. 239, p. 108205, 2021b.

KUMAR, Nallapaneni Manoj et al. Artificial intelligence-based solution for sorting COVID related medical waste streams and supporting data-driven decisions for smart circular economy practice. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 152, p. 482-494, 2021.

NASIR, Mohammed Haneef Abdul et al. Comparing linear and circular supply chains: A case study from the construction industry. **International Journal of Production Economics**, v. 183, p. 443-457, 2017.

OECD. Towards a more resource-efficient and circular economy. The role of the G20. 2021.

ONESMO, Clashon; MABHUYE, Edmund B.; NDAKI, Patrick M. A synergy between sustainable solid waste management and the circular economy in Tanzania cities: a case of scrap metal trade in arusha city. In: **Urban Forum**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2024. p. 47-64.

PAGOROPOULOS, Aris; PIGOSSO, Daniela CA; MCALOONE, Tim C. The emergent role of digital technologies in the Circular Economy: A review. **Procedia cirp**, v. 64, p. 19-24, 2017.

PEYRAUD, Jean-Louis et al. Future of EU livestock: how to contribute to a sustainable agricultural sector. **Final Report. Directorate-General for Agriculture and Rural Development (European Commission): Brussels, Belgium**, v. 82, 2020.

REJEB, Abderahman et al. Barriers to blockchain adoption in the circular economy: a fuzzy Delphi and best-worst approach. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3611, 2022.

SALMINEN, Jani et al. Water-smart circular economy–Conceptualisation, transitional policy instruments and stakeholder perception. **Journal of Cleaner Production**, v. 334, p. 130065, 2022.

SOSNOWSKI, Piotr C. The role of circular supply chains in sharing economy: literature review and conceptual framework. **International Journal of Innovation and Sustainable Development**, v. 18, n. 3, p. 350-379, 2024.

STUCKI, Tobias; WOERTER, Martin; LOUMEAU, Nicole. Clearing the fog: How circular economy transition can be measured at the company level. **Journal of Environmental Management**, v. 326, p. 116749, 2023.

TEIXEIRA, Adriano Alves et al. Green supply chain management in Latin America: Systematic literature review and future directions. **Environmental Quality Management**, v. 30, n. 2, p. 47-73, 2020.

TREVISAN, Adriana Hofmann et al. Barriers to employing digital technologies for a circular economy: A multi-level perspective. **Journal of Environmental Management**, v. 332, p. 117437, 2023.

TRUANT, Elisa et al. Drivers and barriers of smart technologies for circular economy: Leveraging smart circular economy implementation to nurture companies' performance. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 198, p. 122954, 2024.

United Nations (2019). UN launches drive to highlight environmental cost of staying fashionable. Available from https://news.un.org/en/story/2019/03/1035161. Acesso em 17/06/2024.

YANG, Yang et al. Complementarity of circular economy practices: an empirical analysis of Chinese manufacturers. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 20, p. 6369-6384, 2019.

YANG, Li et al. Adoption of information and digital technologies for sustainable smart manufacturing systems for industry 4.0 in small, medium, and micro enterprises (SMMEs). **Technological Forecasting and Social Change**, v. 188, p. 122308, 2023.