

## DESAFIOS DAS FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR A NÍVEL MICRO: UMA EXPLORAÇÃO BIBLIOMÉTRICA E REVISÃO SISTEMÁTICA

LARISSA SILVEIRA DA COSTA

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL INACIANA (FEI) PADRE SABOIA DE MEDEIROS

GABRIELA SCUR

### Introdução

O cenário atual de desenvolvimento econômico global, gera resíduos, esgota os recursos do planeta e emite poluentes no ambiente. Como alternativa a esse paradigma, ganha destaque a Economia Circular (EC), que propõe um sistema mais sustentável para conduzir a economia. No entanto, a adoção dessa abordagem gera desafios complexos, sobretudo no que tange ao monitoramento e medição da implementação da EC.

### Problema de Pesquisa e Objetivo

Avaliar o avanço de práticas circulares envolve ferramentas e métodos adequados e aplicáveis, porém, na realidade, isso não ocorre. A circularidade é um conceito abrangente cada vez mais usado como guia para abordagens adotadas por empresas, indústrias e tomadores de decisão na transição para um objetivo mais amplo da sustentabilidade. Ainda não existe um conjunto amplamente aceito de métricas que avalie eficiência e efeitos causais desse conceito (Cimpan et al., 2023). Este artigo investiga limitações e desafios dos métodos de avaliação destinados a mensurar práticas de EC em nível micro.

### Fundamentação Teórica

O uso de indicadores permite a rastreabilidade do progresso e desempenho de sistemas ou processos específicos (De Oliveira et al., 2021). O desenvolvimento e avaliação da circularidade, bem como o acompanhamento dos processos circulares, exigem indicadores que sejam práticos, fáceis de entender e aplicáveis ao longo do tempo (escaláveis) (Iacovidou et al., 2019). Esses indicadores devem ser complementados por avaliações abrangentes de sustentabilidade. Além disso, a avaliação de sustentabilidade deve considerar os efeitos de recuperação e as compensações (Cimpan et al., 2023).

### Metodologia

Primeiramente foi realizado um estudo bibliométrico para a medição e análise estatística de padrões e tendências relacionadas a publicações nessa área. Este tipo de estudo visa fornecer insights sobre o impacto, influência e disseminação da literatura acadêmica. A partir de textos selecionados depois da bibliometria, a análise do conteúdo ocorreu por meio de uma revisão sistemática de literatura (RSL), baseada no método PRISMA.

### Análise dos Resultados

Após uma análise da literatura científica selecionada, fica evidente o interesse despertado pela necessidade de quantificar e desenvolver ferramentas capazes de avaliar a EC. Foram identificadas cinco limitações proeminentes: a falta de padronização nas ferramentas e métricas, abordagens focadas em partes específicas, não havendo uma visão holística das estratégias e impacto social, ambiental e econômico, a complexidade dos indicadores, a dimensão social pouco explorada e a carência de contribuições práticas quanto as ferramentas propostas.

### Conclusão

As práticas ligadas à EC demandam avaliações e monitoramentos detalhados, mediados por métricas que englobem a amplitude do conceito. Conclui-se que as ferramentas utilizadas para mensurar as práticas da EC são variadas em termos de abrangência e propósito. Outro fator importante é a inclusão da dimensão social na monitorização da EC. As ferramentas de avaliação em grande maioria analisam com prioridade a dimensão ambiental e econômica.

### Referências Bibliográficas

DE OLIVEIRA, C. T. et al. Nano and micro level circular economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments. *Sustainable Production and Consumption*, v. 26, p. 455-468, 2021. IACOVIDOU, E. et al. Quality of resources: a typology for supporting transitions towards resource efficiency using the single-use plastic bottle as an example. *Science of the total environment*, v. 647, p. 441-448, 2019. CIMPAN, C. et al. Keep circularity meaningful, inclusive and practical: A view into the plastics value chain. *Waste Management*, v. 166, p. 115-121, 2023.

### Palavras Chave

economia circular, indicadores, limitações

### Agradecimento a órgão de fomento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – #2022/10837-4. Agradecemos a bolsa e auxílio recebidos.

# DESAFIOS DAS FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR A NÍVEL MICRO: UMA EXPLORAÇÃO BIBLIOMÉTRICA E REVISÃO SISTEMÁTICA

## 1. INTRODUÇÃO

Como alternativa ao modelo econômico linear de extração-produção-descarte, ganha destaque a Economia Circular (EC), que propõe um sistema mais sustentável para conduzir a economia e busca, por meio de inovações sistêmicas, a eliminação de resíduos, a maximização do valor dos recursos e a redução de impactos negativos, ao mesmo tempo em que promove a construção de capital econômico, ambiental e social (Ellen Macarthur Foundation, 2013; Garcia-Saravia Ortiz-de-Montellano; Van Der Meer, 2022). Nos últimos anos, houve um aumento notável no interesse em substituir o modelo econômico linear predominante pela EC (Valls-Val; Ibáñez-Forés; Bovea, 2023). No entanto, a adoção dessa abordagem gera desafios complexos, que envolvem desde o atendimento de diferentes necessidades dos *stakeholders*, até novos modelos de negócios, passando por técnicas de produção e consumo mais inovadoras (Cimpan *et al.*, 2023).

Esses desafios trazem a necessidade de métodos específicos para avaliar o progresso da EC em diversos contextos. Indicadores e ferramentas analíticas desempenham um papel importante ao simplificar informações relevantes para apoiar melhorias e trazer uma visão abrangente do sistema (Singh *et al.*, 2012). O desenvolvimento dessas ferramentas de avaliação é reconhecido como um componente-chave para avaliar a adoção da EC (Saidani, 2018). A finalidade de usar essa ferramenta está relacionada ao acompanhamento e avaliação do progresso de sistemas ou processos específicos (De Oliveira; Dantas; Soares, 2021). Muitos pesquisadores têm abordado essa questão, propondo diferentes formas de avaliar os efeitos da EC ou mesmo seu avanço. No entanto, apesar da variedade de indicadores e métodos descritos na literatura, as abordagens propostas ainda não são completamente satisfatórias. Conforme apontado por Rincón-Moreno *et al.* (2021), as ferramentas para avaliação não apresentam uma visão abrangente da EC, seus princípios e suas conexões com o desenvolvimento sustentável. Avaliar o avanço em direção à adoção de práticas circulares implica que se tenha as ferramentas e metodologias adequadas e aplicáveis, contudo, na realidade, isso não ocorre. A circularidade é um conceito abrangente que está cada vez mais sendo usado como guia ou padrão para as abordagens adotadas por empresas, indústrias e tomadores de decisão na transição em direção a um objetivo mais amplo da sustentabilidade. Ainda não existe um conjunto amplamente aceito de métricas que avalie tanto a eficiência quanto os efeitos causais desse conceito (Cimpan *et al.*, 2023). Nesse sentido, este artigo tem como objetivo principal investigar e explorar as limitações e desafios que permeiam os métodos de avaliação de desempenho destinados a mensurar sistemas de EC em nível micro. Nesse contexto, a investigação recai sobre produtos, seus materiais e processos de produção.

## 2. ECONOMIA CIRCULAR: origem e definição

O conceito de EC tem origem em diferentes áreas que estão interconectadas. Em 1966, Boulding caracterizou a Terra como um sistema fechado e circular com capacidade de assimilação limitada. Essa visão influenciou os pensamentos subsequentes. Como Stahel e Reday (1976) que introduziram aspectos da EC, com foco na economia industrial. Eles conceituaram uma economia de circuito fechado para descrever estratégias industriais de redução de resíduos, criação de empregos regionais, maximização de recursos e diminuição da dependência de materiais na economia industrial.

Durante os anos 80, o termo ‘Economia Circular’ surgiu pela primeira vez na literatura, com a finalidade de caracterizar um sistema fechado de interações entre economia e meio ambiente (Pearce e Turner, 1990). Desde então, a percepção moderna da EC progrediu para

incorporar diversas facetas e contribuições de uma variedade de conceitos que partilham a noção de ciclos fechados. Entre as influências teóricas mais relevantes, destacam-se o *design* regenerativo (Lyle, 1994), a ecologia industrial (Graedel e Allenby, 1995), a biomimética (Benyus, 2002), o conceito de berço-a-berço (McDonough e Braungart, 2002) e a economia de desempenho e circuito (Stahel, 2010). Além destas influências, outro importante nome é a Fundação Ellen MacArthur, por meio do relatório *Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*, lançado no Fórum Econômico Mundial, que trouxe a conscientização global sobre a EC. O relatório destacou os benefícios econômicos, ambientais e sociais de sua transição e forneceu exemplos de implementação bem-sucedidas (Ellen MacArthur Foundation, 2014).

A EC emergiu para abordar desafios globais urgentes, notadamente a escassez de recursos e a gestão de resíduos (Reike; Vermeulen; Witjes, 2018). Essa perspectiva contrasta ao sistema linear, em que os recursos naturais são extraídos, utilizados na produção de bens e serviços e descartados como resíduos (i.e., *take-make-waste*), em sua maior parcela, resultando em degradação ambiental e escassez de recursos naturais. No entanto, essa abordagem linear se mostra cada vez mais insustentável tanto para o presente quanto para as gerações futuras, uma vez que os recursos naturais são finitos e os resíduos gerados têm um impacto ambiental significativo (Eliá; Gnoni; Tornese, 2017). Embora a EC tenha atraído considerável atenção em várias áreas e possa parecer um conceito relativamente simples, ela ainda provoca perplexidade entre os atores envolvidos. Isso decorre da imprecisão de sua definição, da sua abrangência global e universal, bem como da falta de especificidade na sua aplicação (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017).

A EC é considerada por alguns autores como um conceito guarda-chuva, pois abrange diferentes abordagens, estratégias e práticas com o propósito da transição do sistema econômico atual para um sistema circular (Blomsma; Brennan, 2017; Moraga *et al.*, 2019). EC é um sistema econômico que se baseia em modelos de negócios que substituem o conceito de 'fim de vida' pela redução, reutilização alternativa, reciclagem e recuperação de materiais ao longo dos processos de produção, distribuição e consumo, isso implica em promover um equilíbrio entre a qualidade ambiental, a prosperidade econômica e a equidade social, visando beneficiar tanto as gerações atuais quanto as futuras (Kirchherr *et al.*, 2017). Essa abordagem promove a preservação do meio ambiente, a eficiência no uso de recursos e a criação de oportunidades econômicas sustentáveis (Murray; Skene; Haynes, 2017). A EC busca promover o desenvolvimento sustentável por meio da inovação e da transformação em três níveis sistêmicos distintos: o nível micro, o nível meso e o nível macro (Ellen MacArthur Foundation, 2014; Saidani *et al.*, 2019).

Os três níveis sistêmicos representam as escalas nas quais a EC é aplicada. Essas categorizações variam entre autores, mas em geral, a micro se concentra em produtos, empresas ou consumidores, a meso engloba parques ecoindustriais e simbiose industrial, enquanto a macro inclui cidades, províncias, regiões ou nações (Ghisellini; Cialani; Ulgiati, 2016; Kirchherr *et al.*, 2017; Geng *et al.*, 2012; Smol *et al.*, 2017). É importante definir claramente a escala de análise, seja ela relacionada a consumidores individuais, produtos, cidades, regiões ou mesmo a escala global, para uma compreensão precisa dos esforços da EC em diferentes contextos. Segundo Kuzma *et al.* (2021), a escala micro pode ser subdividida em unidades de análise que estão mais diretamente relacionadas à natureza das ações sob avaliação, ou seja, a organização dos elementos nesse contexto varia desde a categoria mais ampla (produto) até a unidade de menor divisibilidade (materiais).

## 2.1 ESTRATÉGIAS-R

As estratégias R, também conhecidas como *frameworks-R*, definidas por diferentes autores na literatura (Blomsma; Brennan, 2017), consistem em estratégias com o propósito de

minimizar o desperdício, otimizar o uso de recursos e promover o aumento do ciclo de vida de produtos e materiais (Potting *et al.*, 2017). Os *frameworks*-R da EC possuem uma variação, como por exemplo 3Rs, 4Rs ou 6Rs (Reike; Vermeulen; Witjes, 2018), sendo utilizado diferentes arranjos e organizados por ordem de prioridade (De Oliveira; Oliveira, 2023). Em outras palavras, os “Rs” são ordenados a depender do nível de circularidade do produto ou material. Estratégias R0 e R1 são de alta circularidade e diminuem o consumo de recursos naturais. Dentro das variações de estratégias encontradas na literatura, os 9Rs (Quadro 1) são os que mais se alinham com o tema abordado nesta pesquisa, pelo fato de incluir mais níveis de circularidade.

**Quadro 1** – Estratégias 9RS

Nível de circularidade	Estratégia	Objetivo
Uso e fabricação de produtos mais inteligentes	R0 – Recusar	Tornar o produto redundante abandonando sua função ou oferecendo a mesma função com um produto radicalmente diferente.
	R1 – Repensar	Tornar o uso do produto mais intensivo (compartilhar produtos ou colocar produtos multifuncionais no mercado).
	R2 – Reduzir	Aumentar a eficiência na fabricação ou uso de produtos consumindo menos recursos naturais e materiais.
Prolongar a vida útil dos produtos e seus componentes	R3 – Reutilizar	Reutilização por outro consumidor de produto descartado que ainda esteja em boas condições e cumpra com sua função original.
	R4 – Reparar	Reparação e manutenção do produto defeituoso para que possa ser utilizado com sua função original.
	R5 – Recondicionar	Restaurar um produto antigo e atualizá-lo.
	R6 – Remanufaturar	Utilizar componentes do produto descartado em um novo produto com a mesma função.
	R7 – Reaproveitar	Uso do produto descartado ou seus componentes em um novo produto com uma função diferente.
Aplicação útil dos materiais	R8 – Reciclar	Processar materiais para obter a mesma qualidade (grau alto) ou inferior (grau baixo).
	R9 – Recuperar	Incineração de materiais com recuperação de energia.

Fonte: Adaptado de Potting *et al.*, (2017).

## 2.2 INDICADORES E MÉTRICAS NA ECONOMIA CIRCULAR

Conforme destacado por Saidani *et al.* (2019), os indicadores desempenham um papel importante como ferramentas analíticas valiosas, simplificando informações complexas. A utilização de indicadores tem como principais objetivos o rastreamento, monitoramento e medição do progresso e desempenho de sistemas ou processos específicos (De Oliveira; Dantas; Soares, 2021). Nesse contexto, os indicadores e suas métricas se revelam abordagens fundamentais no processo de avaliação dos avanços da EC, oferecendo informações para a concepção de políticas e estratégias, bem como para a identificação e avaliação dos impactos resultantes de sua implementação (Valls-Val; Ibáñez-Forés; Bovea, 2023). No entanto, "o que medir" ainda permanece sujeito a intensos debates (Moraga *et al.*, 2019).

Embora tenham surgido numerosos indicadores, métricas e ferramentas de avaliação para a EC nos últimos anos, a pesquisa e a discussão continuam em andamento (De Pascale *et*

al., 2021). Para as empresas, os indicadores se revelam ferramentas valiosas, tanto para fins internos, como o acompanhamento do progresso e a avaliação de possíveis mudanças nos portfólios de produtos, quanto para fins externos, incluindo *benchmarking* e comunicação com clientes e fornecedores (Saidani *et al.*, 2019). Em relação ao desenvolvimento sustentável, a definição das métricas de monitoramento destinadas a avaliar o progresso em direção à EC está sendo amplamente debatida (Elia, Gnoni e Tornese, 2017; Mayer *et al.*, 2019; Pauliuk, 2018). Tentativas recentes de desenvolver métricas gerais divergem em seus objetivos e escopos, resultando em uma ampla cobertura e foco diversificado (Iacovidou *et al.*, 2017; Linder; Sarasini; Van Loon, 2017). Uma recomendação comum é a adoção de um conjunto de indicadores para garantir uma abordagem abrangente das estratégias de EC (Corona *et al.*, 2019; Moraga *et al.*, 2019), embora mais pesquisas sejam necessárias para identificar a complementaridade entre os indicadores existentes (Parchomenko *et al.*, 2019).

O desenvolvimento e a avaliação da circularidade, bem como o acompanhamento dos processos circulares, exigem indicadores que sejam práticos, fáceis de entender e aplicáveis ao longo do tempo (escaláveis) (Iacovidou; Velenturf; Purnell *et al.*, 2019). Esses indicadores devem ser complementados por avaliações abrangentes de sustentabilidade. Além disso, a avaliação de sustentabilidade deve considerar os efeitos de recuperação e as compensações (Cimpan *et al.*, 2023). Assim, a transição para a EC demanda a capacidade de avaliar e analisar o progresso, como ressaltado por Kristensen e Mosgaard (2020). Portanto, o desenvolvimento de ferramentas que facilitem a mensuração da EC é fundamental, garantindo que as estratégias e práticas circulares implementadas gerem impactos positivos no meio ambiente e na sociedade como um todo (Saadé *et al.*, 2022). Diante disso, torna-se relevante a identificação das limitações de métodos de avaliação, uma vez que isso permite a proposição da mitigação dessas limitações.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A análise bibliométrica surge como a ferramenta fundamental para cumprir os objetivos delineados por este estudo, uma vez que permite quantificar o avanço de um tema específico (Bellis, 2009). As técnicas bibliométricas foram utilizadas para oferecer métricas que enriquecem a análise da RSL. Esta abordagem quantitativa é empregada para identificar contribuições e conexões entre os elementos que compõem a pesquisa (Donthu *et al.*, 2021). Neste contexto, parâmetros bibliométricos específicos foram implementados neste estudo: a quantidade de artigos por ano, que ilustra a evolução da produção ao longo do tempo, a contribuição científica por país, para identificar os países mais produtivos em publicações, e a evolução temática, que auxilia na compreensão da progressão e modificação de temas, conceitos e abordagens ao longo do período analisado. Por sua vez, a RSL representa uma abordagem qualitativa, na qual os dados são analisados quanto ao seu conteúdo (Bardin, 1986). No entanto, ambas as abordagens se entrelaçam, fornecendo benefícios complementares (Donthu *et al.*, 2021).

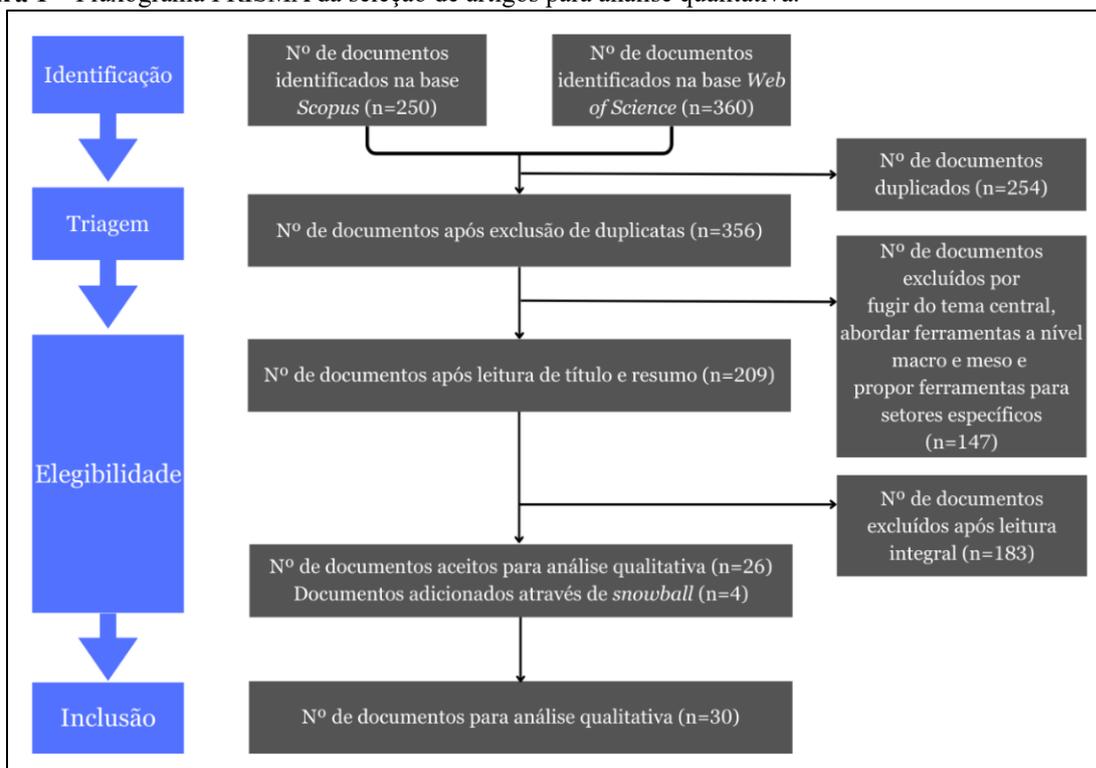
**Quadro 2** – Protocolo para coleta de dados

<b>Período</b>	Sem janela temporal
<b>Tipo de documento</b>	<i>Articles, Reviews</i>
<b>Palavras-chave</b>	<b>Grupo 1:</b> <i>metrics, indicators, assessment, circular*, circular economy</i> <b>Grupo 2:</b> <i>metrics, indicators, assessment, circular*, circular economy, framework</i> <b>Grupo 3:</b> <i>indicators, assessment, circular*, circular economy, framework</i>
<b>Operador booleano</b>	AND entre os termos de busca. OR entre grupos.
<b>Base de dados</b>	<i>Web of science e Scopus</i>
<b>Idiomas</b>	Inglês
<b>Campos de busca</b>	Título, resumo e palavras-chave

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 2 apresenta os grupos de palavras-chave e o protocolo de busca nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, que agregaram publicações científicas de periódicos diversificados, proporcionando um acesso centralizado a uma ampla gama de literatura internacional atualizada. Para a seleção da literatura, o método PRISMA foi empregado (Moher *et al.*, 2010). Além disso, foi utilizada a técnica que utiliza rede de referências conhecida como *snowball* (Naderifar; Goli; Ghaljaie, 2017). A Figura 1 apresenta um fluxograma que propicia uma visão geral das distintas etapas envolvidas na obtenção e seleção da literatura.

**Figura 1** – Fluxograma PRISMA da seleção de artigos para análise qualitativa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente, um total de 610 artigos foram encontrados nas bases de dados. O primeiro critério de exclusão envolveu a remoção de duplicatas, resultando na exclusão de 254 documentos. Na etapa de elegibilidade, primeiramente foram excluídos os artigos que fugiam do tema central de ferramentas de avaliação da EC totalizando 107 documentos. Em segundo lugar, foram descartados os artigos que tratavam de ferramentas de avaliação nos níveis macro e meso, 9 e 8 documentos, respectivamente. Em terceiro, foram excluídos aqueles com proposição de ferramentas para setores específicos somando 22 artigos. Em quarto lugar, o restante dos documentos foi analisado quanto a demais critérios como proposições de ferramentas de avaliação e indicadores de nível micro que abordem expressamente algum dos objetivos, estratégias e dimensões da EC. Após a análise do conteúdo desses artigos, um total de 26 documentos foram aceitos. Através da técnica *snowball*, 4 documentos adicionais foram identificados, culminando no processo de inclusão, que resultou em um total de 30 artigos para análise.

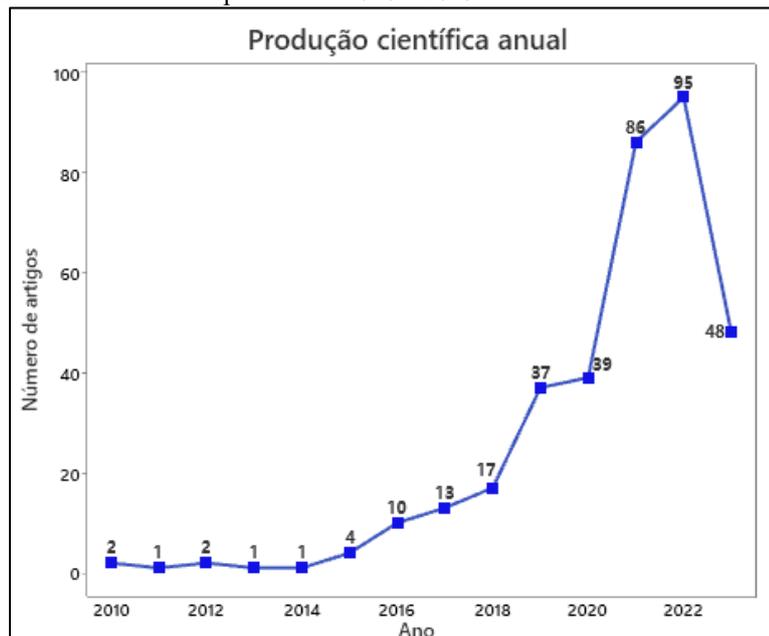
## 4. RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE DESCRITIVA

Com o intuito de aprimorar a compreensão conceitual, esta seção apresenta uma análise de desempenho de alguns componentes dos metadados, proporcionando, dessa forma, uma visão holística da literatura.

A produção científica anual pode ser observada através da Figura 2, do período de 2010 ao primeiro semestre de 2023, com 2022 tendo o maior número de publicações. É possível observar o aumento na produção científica a partir de 2015, mesmo que a adoção da EC tenha iniciado mais de uma década antes em países da União Europeia (UE) e China (Alcalde-Calonge; Sáez-Martínez; Ruiz-Palomino, 2022). Essa tendência pode ser compreendida pela crescente abrangência e rigor internacional dos regulamentos e estratégias da Comunidade Europeia, que se tornaram mais pertinentes devido ao esgotamento de recursos naturais, padrões de consumo elevados e aumento da população global (Ellen Macarthur Foundation, 2015; World Manufacturing Foundation, 2018).

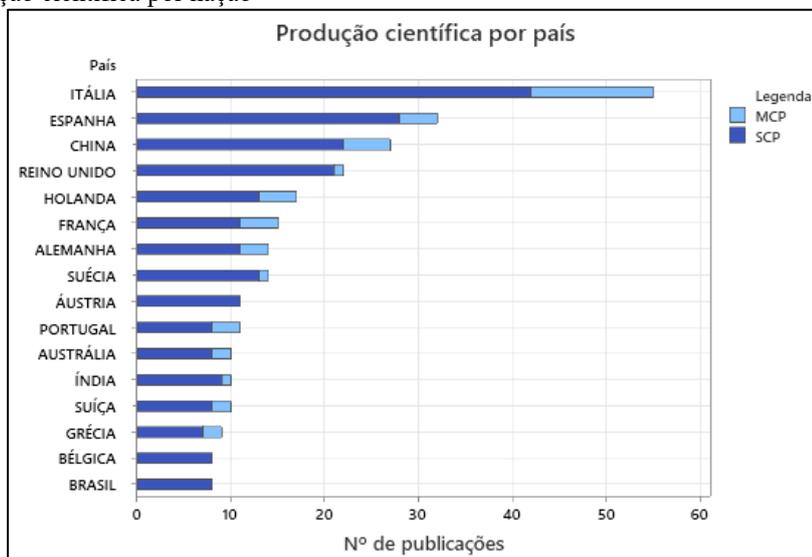
**Figura 2** – Produção científica anual no período de 2010 a 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o propósito de identificar os países com o maior volume de artigos publicados, realizou-se uma análise do número de produções científicas por nação (Figura 3). Os resultados foram fundamentados na afiliação do primeiro autor da publicação (SCP) ou no cenário de múltiplas afiliações, isto é, artigos com afiliações de países distintos (MCP).

**Figura 3** – Produção científica por nação

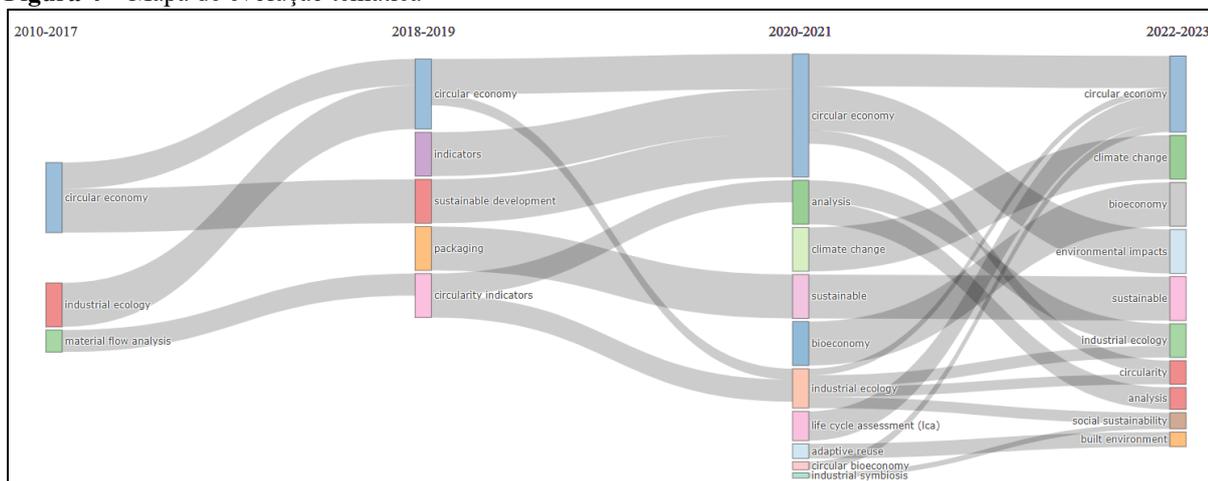


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 3 mostra que, dentre aqueles com maior produção, predominam na sua maioria países da Europa, destacando-se (1) Itália, (2) Espanha, (3) China, (4) Reino Unido e (5) Holanda como os cinco primeiros colocados, respectivamente. Esta classificação demonstra, em termos globais, a liderança europeia na pesquisa científica relacionada a métricas e avaliação da EC.

A análise da evolução temática ao longo dos últimos 13 anos revela *insights* significativos sobre as principais questões que têm moldado o campo da EC (Figura 4). Para ilustrar tal evolução utiliza-se o “mapa de evolução temática”, que conta com recortes temporais. Cada recorte temporal possui um conjunto de *clusters*, isto é, blocos de diferentes tamanhos relacionados com a ocorrência de palavras-chave. De modo geral pode-se dizer que quanto maior for o tamanho do *cluster*, maior a frequência da respectiva palavra-chave no período, e vice-versa. O mapa da evolução temática, ilustrado na Figura 4, divide o período em quatro recortes temporais distintos: 2010 a 2017, 2018 a 2019, 2020 a 2021 e 2022 a 2023, e este recorte foi escolhido com base no gráfico de produção científica anual. A investigação revela o crescimento exponencial do interesse pela EC nas últimas décadas, claramente refletido no aumento e diversificação dos tópicos abordados.

**Figura 4** – Mapa de evolução temática



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se na Figura 4 que, durante o intervalo de 2010 a 2017, os principais tópicos abordados foram EC, Ecologia Industrial (EI) e, em menor proporção, Análise de Fluxo de Material (AFM). Segundo Ghisellini e colaboradores (2016) a EC estaria intimamente relacionada com a Ecologia Industrial (EI), estratégia que tem como objetivo promover a transição de ciclos abertos para ciclos fechados, fato que pode ser observado mais claramente no segundo período (2018 – 2019) onde os dois conceitos se unem no *cluster* de EC. No mesmo período, outros tópicos entram em evidência como desenvolvimento sustentável, indicadores e embalagens.

Na terceira fase (2020 – 2021) é possível observar um aumento no *cluster* de EC, dada a contribuição de outras palavras-chave do período anterior. Adicionalmente, nota-se o surgimento de novos temas como sustentabilidade, bioeconomia, mudança climática, Análise do Ciclo de Vida (ACV), entre outros. Na última fase (2022 – 2023) permanece o *cluster* de EC agora contando com a contribuição da ACV, conceito emergente que se trata de uma ferramenta de avaliação ambiental. Dentre os tópicos presentes neste período destacam-se impactos ambientais, mudança climática, sustentabilidade social, entre outros. Em suma, através da análise do mapa de evolução temática, é possível perceber o surgimento de diferentes tópicos, principalmente nos últimos 4 anos, podendo inferir que a EC e temas interconectados à sustentabilidade estão emergindo.

## 4.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO

Por meio da RSL, foi possível ter uma visão abrangente sobre as contribuições ao longo do período analisado para quantificar a EC, juntamente com o nível de perspectiva, *frameworks*-R e dimensões abordadas (Tabela 1). Dentro da seleção de documentos, as classificações e proposições de ferramentas, exibem notáveis variações em relação à metodologia empregada, ao conjunto de indicadores utilizado, às fórmulas de cálculo, às unidades de medida e aos objetivos predominantes da avaliação. Por exemplo, algumas ferramentas visam simplificar o processo de escolha dos indicadores (Saidani *et al.*, 2019), enquanto outras se propõem a monitorar o desenvolvimento de novos produtos com base na perspectiva da EC (Pauliuk, 2018). As taxonomias identificam e categorizam métricas (Corona *et al.*, 2019; De Pascale *et al.*, 2021) e, a organização delas varia de acordo com o escopo de aplicação, como, por exemplo, a utilização em setores específicos (Superti; Houmani; Binder, 2021). Já as metodologias empregadas são normalmente conduzidas por meio de ferramentas de avaliação ambiental como ACV e AFM (Elia; Gnoni; Tornese, 2017; Linder *et al.*, 2020; Sassanelli *et al.*, 2019), tendo um campo sólido estabelecido, ou ainda por métodos de tomada de decisão multicritério (MTDM) (Niero; Kalbar, 2019). Consequentemente, essas ferramentas refletem estruturas diversificadas e avaliam o progresso da EC de várias perspectivas diferentes, sendo um espelho das multifaces do conceito da EC.

O nível de perspectiva pode ser fragmentado em unidades menores mais próximas do escopo de análise. Entre as ferramentas analisadas nesta RSL, foram categorizadas quatro perspectivas relevantes: material, produto, organizacional e diferentes níveis. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, a maioria das ferramentas e indicadores desta revisão foram desenvolvidos para avaliar o nível organizacional (11), seguido pelo nível do produto (9), posteriormente avaliações no nível de material (6) e, por último, as métricas capacitadas a avaliar diferentes níveis (5).

Os resultados também demonstram a proporção de ferramentas que abordam as dimensões social, ambiental e econômica da EC. As métricas mais desenvolvidas estão na dimensão ambiental, devido à existência de uma estrutura consolidada de ferramentas neste campo relacionadas à sustentabilidade. As métricas econômicas, embora menos comuns, são frequentemente combinadas com a dimensão ambiental. Por outro lado, os indicadores sociais ocupam uma posição menos expressiva (De Oliveira; Dantas; Soares, 2021). Apesar dos avanços significativos, diversos autores apontam a falta de métodos abrangentes que englobem todas as três dimensões (Corona *et al.*, 2019; Iacovidou *et al.*, 2017; Sassanelli *et al.*, 2019). Revisões destacam a carência de indicadores para avaliar os aspectos sociais no contexto da EC (Garcia-Saravia Ortiz-De-Montellano; Van Der Meer, 2022; Kristensen; Mosgaard, 2020). Em um estudo que analisou 29 indicadores e ferramentas de avaliação em nível micro, apenas 9 deles incluíam a dimensão social (De Pascale *et al.*, 2021).

As ferramentas de avaliação da EC incorporam os *frameworks*-R em seu desenvolvimento. Todavia, a maioria delas não consegue abranger um grande número de estratégias em sua avaliação, levando a um número repetitivo de métricas e indicadores abordando os mesmos Rs. Em ordem de predominância, Reutilizar, Reciclar, Reduzir, Reparar, Recondicionar, Remanufaturar, Recuperar, Reaproveitar e Recusar são aqueles com incidência entre as avaliações propostas, e Repensar não foi abordado por nenhuma das ferramentas e indicadores desta revisão. Para Kristensen e Mosgaard (2020) apesar da reciclagem e, até certo ponto, a remanufatura sejam estratégias mais antigas para prolongar a vida útil dos recursos e/ou produtos, a reutilização é uma das estratégias mais recentes articuladas no campo ambiental. Além disso, é importante destacar que os *frameworks*-R tem recebido maior atenção entre as intervenções de EC (Superti; Houmani; Binder, 2021), o que é corroborado através dos resultados discutidos nesta revisão.

**Tabela 1** – Seleção de artigos com proposição de ferramentas e indicadores

Autor(es)	Método	Nível de perspectiva	Frameworks-R abordados	Dimensões abordadas
Franklin-Johnson <i>et al.</i> (2016)	Proposição de um Indicador de longevidade	Organizacional	R3, R4, R5, R6, R7, R8	A/E
Elia <i>et al.</i> (2017)	Quadro para orientação de uma possível metodologia para avaliação de EC baseado na abordagem da ACV.	Material	R2, R5 e R8	A
Linder <i>et al.</i> (2017)	Métrica de circularidade em nível de produto.	Produto	R3, R4, R5, R6, R7, R7	A
Iacovidou <i>et al.</i> (2017)	Otimização de Valor Complexo para Recuperação de Recursos (CVORR): Avaliar como o valor complexo é criado, destruído e distribuído na recuperação de recursos de sistemas de resíduos	Material/Produto	R3, R4, R5, R6, R8, R9	A
Kazancoglu <i>et al.</i> (2018)	Estrutura de Avaliação de Desempenho de Gestão da Cadeia de Abastecimento Verde	Organizacional	R2, R3, R6 e R8	S/A/E
Pauliuk (2018)	Foram reunidos um conjunto de indicadores qualitativos para a avaliação das abordagens EC nas empresas.	Material	R2, R3 e R8	S/A/E
Bianchini, Rossi e Pellegrini (2019)	Ferramenta de Modelo de Negócios Circular que permite comparar uma situação linear com uma situação circular.	Organizacional	R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 e R9	S/A
Corona <i>et al.</i> (2019)	Identificação e classificação de indicadores em taxonomia.	Produto ou serviço	R2, R3 e R8	A/E
Garza-Reyes <i>et al.</i> (2019)	Propôs um Kit de Ferramentas de Medição de Circularidade (CMT)	Organizacional	R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 e R9	A
Kravchenko, Pigosso e Mcaloon (2019)	Banco de dados de indicadores líderes de desempenho	Diferentes níveis	R2, R3, R4, R5, R6, R3, R8 e R9	S/A/E
Moraga <i>et al.</i> (2019)	Estrutura de classificação de indicadores.	Material	R3 e R8	S/A/E
Niero e Kalbar (2019)	Análise de decisão multicritério acoplado indicadores de circularidade com indicadores baseados em ACV.	Produto	R3 e R8	A
Parchomenko <i>et al.</i> (2019)	Estabeleceu uma estrutura e classificação para um conjunto de métricas, além de associar esses elementos a pontos específicos dentro de um sistema.	Material	R3, R6, R8	A
Saidani <i>et al.</i> (2019)	Indicadores C: Ferramenta de seleção para sugestão de indicadores mais apropriados para medição do sistema a ser avaliado.	Diferentes níveis	R3 e R8	A
Sassanelli <i>et al.</i> (2019)	Estrutura de posicionamento com métodos de avaliação de desempenho da EC de acordo com a perspectiva do <i>Triple Bottom Line</i> (TBL), variáveis envolvidas e estágio do ciclo de vida	Organizacional	R3 e R8	A/E
Alamerew <i>et al.</i> (2020)	Método de avaliação multicritério de estratégias de circularidade ao nível do produto	Produto ou serviço	R3, R4, R5, R6, R8, R9	S/A/E
Bracquené, Dewulf e Dufloy (2019)	Indicador de Circularidade do Produto (PCI)	Produto	R2, R3, R4, R5, R6, R8, R9	A
Linder <i>et al.</i> (2020)	Análise da relação dos Indicadores de circularidade – C com ACV	Produto	R3, R4, R5, R6, R7, R8	A
Kristensen e Mosgaard (2020)	Categorização de 30 indicadores a nível micro.	Organizacional/Produto	R3, R6, R8	A/E
Droege <i>et al.</i> (2021)	Estrutura que engloba definições de sistema, 35 elementos de avaliação da EC, metas de avaliação e indicadores.	Organizacional	R0, R2, R3, R5, R3 e R8	S/A/E
Ladu e Morone (2021)	A ferramenta de Avaliação Integrada (IAT)	Produto	R2 e R8	S/A/E
Moraga <i>et al.</i> (2021)	Conjunto de indicadores proposto para medir e quantificar como os materiais são usados em diferentes ciclos de vida de produtos	Material	R2, R3, R4, R5, R8 e R9	A
Rincón-Moreno <i>et al.</i> (2021)	Composto por 14 indicadores relevantes para empresas, focados na implementação prática da EC.	Organizacional	R2 e R8	A
Sacco <i>et al.</i> (2021)	Proposição de ferramenta de avaliação de circularidade e maturidade em nível de empresa (CM – FLAT).	Organizacional	R2, R3, R4, R8 e R9	A
Vinante <i>et al.</i> (2021)	365 métricas organizadas em uma estrutura de quadro circular da cadeia de valor.	Organizacional	R2, R3, R4, R8 e R9	A
De Pascale <i>et al.</i> (2021)	Quadro de classificação de 61 indicadores.	Diferentes níveis	R2, R3, R6	S/A/E
Superti; Houmani; Binder (2021)	Proposição de quadro abrangente para categorizar intervenções da EC.	Diferentes níveis	R0 – R9	A/E
Baratsas, Pistikopoulos e Avraamidou (2022)	Índice de Microeconomia Circular (MICRON)	Organizacional	R2, R3, R4, R5, R8 e R9	A
Brändström e Eriksson (2022)	Métrica de Eficiência de Materiais (MEM)	Modelo de negócio	R2, R3, R5, R4, R8	A
Garcia-Saravia Ortiz-de-Montellano; Van der Meer (2022)	Proposição de uma estrutura holística e padronizada, dividindo a EC em impactos e práticas circulares.	Diferentes níveis	R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 e R9	S/A/E <sup>1</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor.

<sup>1</sup> social/ambiental/econômico

#### 4.2.1 FERRAMENTAS E SUAS LIMITAÇÕES

Após uma análise da literatura científica selecionada, fica evidente o interesse despertado pela necessidade de quantificar e desenvolver ferramentas capazes de avaliar a EC. Esse interesse se reflete na profusão de proposições de indicadores e ferramentas, com escopos diversos, cálculos variados e aplicabilidade. Foram identificadas cinco limitações (Tabela 2) proeminentes: (1) Falta de padronização nas ferramentas e métricas, (2) Abordagens focadas em partes específicas, não havendo uma visão holística das estratégias e impacto social, ambiental e econômico, (3) Complexidade dos indicadores, (4) Dimensão social pouco explorada e (5) A carência de contribuições práticas quanto as ferramentas propostas.

Tabela 2 – Limitações observadas na literatura

Limitações	Descrição	Contexto	Relevância
<b>Falta de padronização</b>	Ausência de métricas e indicadores padronizados para medir a EC.	Diversidade de abordagens na EC.	Dificuldade na comparação de práticas circulares e melhorar suas iniciativas para um sistema em direção a EC.
<b>Ferramentas com foco restrito</b>	Ênfase em estratégias parciais, como por exemplo reciclagem e remanufatura.	Falta de visão holística do progresso da EC.	Potencial para negligenciar aspectos importantes e levar a sub otimizações do sistema avaliado.
<b>Métricas e ferramentas complexas</b>	A complexidade inerente das métricas e ferramentas de medição da EC pode dificultar sua aplicação prática e interpretação.	Medir e avaliar a EC em organizações, de produtos e materiais envolve múltiplas dimensões e variáveis, tornando as métricas complexas.	A compreensão e solução dessa limitação facilitam a adoção da EC em empresas e organizações, tornando as métricas mais acessíveis e úteis.
<b>Dimensão social pouco explorada</b>	Ferramentas frequentemente negligenciam a dimensão social da EC, focando principalmente em aspectos ambientais e econômicos.	A ênfase excessiva nas dimensões ambientais e econômicas limita a compreensão holística da EC, deixando de considerar o impacto social.	Integrar a dimensão social na avaliação da EC garante resultados sustentáveis e equitativos, além de uma visão completa do sistema estudado.
<b>Estudos de caso práticos</b>	A escassez de estudos de caso práticos que demonstrem a aplicação das ferramentas e métricas em contextos reais limita sua compreensão.	A falta de exemplos tangíveis e reais dificulta a visualização das ferramentas e métricas em diferentes setores e indústrias.	Estudos de caso práticos podem inspirar e orientar a adoção da EC em organizações e setores diversos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar do crescente interesse e contribuições no campo das métricas e ferramentas de avaliação da EC, a falta de métodos padronizados para medir e avaliar a EC continua sendo uma limitação significativa. Isso resulta em uma notável disparidade de entendimento sobre o que deve ser considerado na avaliação da EC (De Pascale *et al.*, 2021). Embora os indicadores sejam valiosos para entender as estratégias e impactos da EC, a ausência de padronização e diretrizes claras pode dificultar a comparação e interpretação dos resultados, levando a abordagens e métricas diversas e, por vezes, conflitantes (Elia; Gnoni; Tornese, 2017; Vinante *et al.*, 2021). Além disso, a falta de consistência nas estruturas de avaliação está diretamente relacionada a ausência de padronização e pode dificultar a adoção de práticas circulares pelas organizações (Sacco *et al.*, 2021). Portanto, torna-se evidente a necessidade de desenvolver métodos padronizados de medição para estabelecer uma base sólida na avaliação e promoção do desempenho circular dos sistemas.

A limitação relacionada às ferramentas de avaliação segmentadas e com foco restrito é uma barreira significativa para a abordagem holística e abrangente necessária na EC. Muitas das ferramentas de avaliação disponíveis no campo tendem a se concentrar em aspectos específicos, como ACV para avaliar os impactos ambientais (Alamerew *et al.*, 2020), AFM para medir a circularidade de materiais (Pauliuk, 2018). Os indicadores são portadores de

informações valiosas em áreas específicas, a falta de uma abordagem integrada pode prejudicar a avaliação do sistema. Isso ocorre porque, ao focar em apenas um aspecto da EC, as organizações podem negligenciar outros elementos igualmente importantes, resultando em uma falta de consideração abrangente. Essa abordagem fragmentada prejudica uma visão holística dos impactos causados pelo produto ou organização que está sendo avaliado pela ferramenta. Segundo Elia *et al.* (2017) focar em um conjunto limitado de indicadores que represente parcialmente as dimensões que envolvem a EC representa uma limitação na avaliação proposta. Portanto, é fundamental reconhecer essa limitação e buscar abordagens que relacionem o impacto das estratégias EC não só na organização, mas interconectando aos diferentes níveis de implementação.

A complexidade das métricas e ferramentas pode representar desafios consideráveis. O cálculo e interpretação de indicadores muitas vezes exigem conhecimentos técnicos especializados, como na ACV e AFM (Moraga *et al.*, 2021). Isso pode criar barreiras para a aplicação prática, especialmente para empresas e organizações que não possuem experiência nessas áreas (Saidani *et al.*, 2019). Além disso, a variedade de métricas disponíveis e a necessidade de selecionar aquelas mais relevantes para um contexto específico podem ser desafiadoras (Parchomenko *et al.*, 2019). A complexidade excessiva pode resultar em uma avaliação difícil de entender e comunicar, tornando-a menos acessível para um público mais amplo. Entretanto, Droege, Raggi e Ramos (2021) salientam que a simplicidade excessiva da ferramenta pode não captar a multidimensionalidade da EC. Portanto, deve-se buscar balancear a necessidade de métricas abrangentes com a simplicidade de uso, a fim de garantir que a avaliação da EC seja eficaz e acessível a todas as partes interessadas, evitando assim potenciais subotimizações do sistema.

A dimensão social na EC muitas vezes é tratada de forma marginal, uma vez que a maioria das discussões se concentra predominantemente nas dimensões econômicas e ambientais. No entanto, é importante reconhecer que a EC não é apenas sobre a gestão eficiente de recursos e redução de impactos ambientais, mas também sobre o impacto social. A EC tem o potencial de gerar empregos locais, promover a inclusão social, melhorar as condições de trabalho e fortalecer as relações nas cadeias de valor (Geissdoerfer *et al.*, 2017; Ghisellini; Cialani; Ulgiati, 2016). A negligência da dimensão social pode resultar na perda de oportunidades de melhorias significativas para a sociedade. Neste sentido, torna-se válido desenvolver métricas e ferramentas que permitam uma avaliação mais abrangente da EC, incorporando adequadamente os aspectos sociais. Isso garantirá uma compreensão holística da EC e ajudará a aproveitar seu potencial máximo, evitando uma avaliação incompleta do sistema e promovendo resultados mais equilibrados e sustentáveis em todas as dimensões.

Embora haja um crescente interesse e desenvolvimento de métricas e ferramentas de avaliação, a falta de validação através de exemplos concretos e estudos de caso práticos que mostrem como essas ferramentas podem ser implementadas na prática é outra limitação observada na literatura. Um dos obstáculos que as organizações enfrentam ao tentar transformar seus modelos de negócios em um paradigma de EC reside na carência de abordagens, instrumentos e métricas que permitam avaliar diversas estratégias de circularidade (Alamerew *et al.*, 2020). Para Droege, Raggi e Ramos (2021), o desenvolvimento de indicadores e ferramentas envolve diferentes variáveis, abrangendo desde o que deve ser avaliado até a forma de conduzir a avaliação e, envolver diferentes partes interessadas neste processo enriquece as ferramentas. Deste modo, a proposição de métodos de avaliação da EC deve envolver a sinergia entre organizações e partes interessadas a quem é destinado.

Esta pesquisa está em andamento e o próximo passo seria a proposição de um modelo analítico conceitual de avaliação não apenas em nível micro, mas sobretudo, que envolva os impactos das práticas de circularidade no TBL (*triple bottom line*), isto, nas dimensões social,

econômica e ambiental da sustentabilidade. Entende-se que somente uma visão holística dessas práticas será possível, de fato, compreender, como a EC suporta o desenvolvimento sustentável.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um cenário complexo, no qual realidades divergentes prevalecem entre nações desenvolvidas e em desenvolvimento, a busca por uma padronização de ferramentas para mensurar o progresso da EC se apresenta como um desafio significativo e difícil de se alcançar. Isso ocorre porque a avaliação desse sistema depende profundamente da estrutura em que ele se insere e dos recursos específicos que estão sendo avaliados. Os resultados dessa pesquisa apontam, de forma mais ampla, as limitações das ferramentas de avaliação e indicadores existentes no nível micro, ou seja, o nível mais discutido e analisado pelos estudos prévios. A pesquisa destaca ainda um interesse crescente por essa área entre os pesquisadores nos últimos anos. Adicionalmente, é notável que as instituições da União Europeia lideram em produtividade, expressa pelo número de documentos produzidos.

As práticas ligadas à EC demandam avaliações e monitoramentos detalhados, mediados por métricas que englobem a amplitude do conceito, com o objetivo de garantir clareza e confiabilidade na interpretação dos dados. Conclui-se que as ferramentas utilizadas para mensurar as práticas da EC são variadas em termos de abrangência e propósito, podendo acarretar implicações incoerentes conforme o sistema avaliado. O potencial da EC é de escala internacional, no entanto, exige avaliações e monitoramentos apoiados por instrumentos com plena capacidade de mensurar suas estratégias e todas suas dimensões.

Outro fator importante é a inclusão da dimensão social na monitorização da EC que demanda melhorias, especialmente em termos de abrangência. As ferramentas de avaliação em grande maioria analisam com prioridade a dimensão ambiental e econômica e os impactos sociais são negligenciados em grande maioria das ferramentas propostas. Caso essa dimensão não seja devidamente considerada pelas ferramentas de avaliação, a capacidade de estimar os impactos das estratégias circulares será comprometida, dada a interconexão do sistema em todos os níveis de implementação. Adicionalmente, estudos empíricos são pouco explorados na apresentação de novos métodos de avaliação, sendo um fator importante para determinar barreiras e melhores estratégias de análise. Essa pesquisa apresenta como limitação o fato de estar em desenvolvimento, o que não permite ainda que traga um modelo de avaliação como proposta. No entanto, além desse modelo, sugere-se para estudos futuros o desenvolvimento de ferramentas que englobem mais *frameworks*-R, bem como as dimensões social, ambiental e econômica. Além disso, no âmbito das ferramentas já propostas, há a necessidade de identificar indicadores padronizados para a análise e avaliação da EC, levando em consideração a essência do conceito da EC.

## REFERÊNCIAS

ALAMEREW, Yohannes A. *et al.* A multi-criteria evaluation method of product-level circularity strategies. **Sustainability**, v. 12, n. 12, p. 5129, 2020.

ALCALDE-CALONGE, Alberto; SÁEZ-MARTÍNEZ, Francisco José; RUIZ-PALOMINO, Pablo. Evolution of research on circular economy and related trends and topics. A thirteen-year review. **Ecological Informatics**, v. 70, p. 101716, 2022.

BARATSAS, Stefanos G.; PISTIKOPOULOS, Efstratios N.; AVRAAMIDOU, Styliani. A quantitative and holistic circular economy assessment framework at the micro level. **Computers & Chemical Engineering**, v. 160, p. 107697, 2022.

BARDIN, Laurence. **Análisis de contenido**. Ediciones Akal, 1986.

BELLIS, Nicola de. **Bibliometrics and citation analysis: from the science citation index to cybermetrics**. scarecrow press, 2009.

BENYUS, Janine M. **Biomimicry: Innovation inspired by nature**. New York: Morrow, 2002. BIANCHINI, Augusto; ROSSI, Jessica; PELLEGRINI, Marco. Overcoming the main barriers of circular economy implementation through a new visualization tool for circular business models. **Sustainability**, v. 11, n. 23, p. 6614, 2019.

BLOMSMA, Fenna; BRENNAN, Geraldine. The emergence of circular economy: a new framing around prolonging resource productivity. **Journal of industrial ecology**, v. 21, n. 3, p. 603-614, 2017.

BOULDING, K. **The economics of the coming spaceship earth. Environmental Quality in a Growing Economy**. Essays from the Sixth RFF Forum. 1966.

BRACQUENÉ, Ellen; DEWULF, Wim; DUFLOU, Joost R. Measuring the performance of more circular complex product supply chains. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 154, p. 104608. 2019.

BRÄNDSTRÖM, Johan; ERIKSSON, Ola. How circular is a value chain? Proposing a Material Efficiency Metric to evaluate business models. **Journal of Cleaner Production**, v. 342, p. 130973, 2022.

CIMPAN, Ciprian et al. Keep circularity meaningful, inclusive and practical: A view into the plastics value chain. **Waste Management**, v. 166, p. 115-121, 2023.

CORONA, Blanca *et al.* Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 151, p. 104498, 2019.

DE OLIVEIRA, Carla Tognato; DANTAS, Thales Eduardo Tavares; SOARES, Sebastiao Roberto. Nano and micro level circular economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 455-468, 2021.

DE OLIVEIRA, Carla Tognato; OLIVEIRA, Giovanna Groff Andrade. What Circular economy indicators really measure? An overview of circular economy principles and sustainable development goals. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 190, p. 106850, 2023.

DE PASCALE, Angelina *et al.* A systematic review for measuring circular economy: The 61 indicators. **Journal of cleaner production**, v. 281, p. 124942, 2021.

DONTHU, Naveen *et al.* How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of business research**, v. 133, p. 285-296, 2021.

DROEGE, Hinrika; RAGGI, Andrea; RAMOS, Tomás B. Co-development of a framework for circular economy assessment in organisations: Learnings from the public sector. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 28, n. 6, p. 1715-1729, 2021.

ELIA, Valerio; GNONI, Maria Grazia; TORNESE, Fabiana. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of cleaner production**, v. 142, p. 2741-2751, 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards a circular economy: business rationale for an accelerated transition. **Greener Manag International**. 2015.

- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition.** 2013.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards the circular economy: accelerating the scale-up across global supply chains. In: **World Economic Forum.** 2014.
- FRANKLIN-JOHNSON, Elizabeth; FIGGE, Frank; CANNING, Louise. Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 589-598, 2016.
- GARCIA-SARAVIA ORTIZ-DE-MONTELLANO, Cris; VAN DER MEER, Yvonne. A theoretical framework for circular processes and circular impacts through a comprehensive review of indicators. **Global Journal of Flexible Systems Management**, v. 23, n. 2, p. 291-314, 2022.
- GARZA-REYES, Jose Arturo *et al.* A circularity measurement toolkit for manufacturing SMEs. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 23, p. 7319-7343, 2019.
- GEISSDOERFER, Martin *et al.* The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 757-768, 2017.
- GENG, Yong *et al.* Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. **Journal of cleaner production**, v. 23, n. 1, p. 216-224, 2012.
- GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner production**, v. 114, p. 11-32, 2016.
- GRAEDEL, Thomas E. On the concept of industrial ecology. **Annual Review of Energy and the Environment**, v. 21, n. 1, p. 69-98, 1996.
- IACOVIDOU, Eleni *et al.* Metrics for optimising the multi-dimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 910-938, 2017.
- IACOVIDOU, Eleni; VELENTURF, Anne PM; PURNELL, Phil. Quality of resources: a typology for supporting transitions towards resource efficiency using the single-use plastic bottle as an example. **Science of the total environment**, v. 647, p. 441-448, 2019.
- KAZANCOGLU, Yigit; KAZANCOGLU, Ipek; SAGNAK, Muhittin. A new holistic conceptual framework for green supply chain management performance assessment based on circular economy. **Journal of cleaner production**, v. 195, p. 1282-1299, 2018.
- KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.
- KRAVCHENKO, Mariia; PIGOSSO, Daniela CA; MCALOONE, Tim C. Towards the ex-ante sustainability screening of circular economy initiatives in manufacturing companies: Consolidation of leading sustainability-related performance indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, p. 118318, 2019.
- KRISTENSEN, Heidi Simone; MOSGAARD, Mette Alberg. A review of micro level indicators for a circular economy—moving away from the three dimensions of sustainability?. **Journal of Cleaner Production**, v. 243, p. 118531, 2020.

- KUZMA, Edson Luis *et al.* Circular economy indicators and levels of innovation: an innovative systematic literature review. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 71, n. 3, p. 952-980, 2022.
- LADU, Luana; MORONE, Pieggiuseppe. Holistic approach in the evaluation of the sustainability of bio-based products: An Integrated Assessment Tool. **Sustainable Production and Consumption**, v. 28, p. 911-924e6, 2021.
- LINDER, Marcus *et al.* Product-level inherent circularity and its relationship to environmental impact. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121096, 2020.
- LINDER, Marcus; SARASINI, Steven; VAN LOON, Patricia. A metric for quantifying product-level circularity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 545-558, 2017.
- LYLE, John Tillman. **Regenerative design for sustainable development**. John Wiley & Sons, 1994.
- MAYER, Andreas *et al.* Measuring progress towards a circular economy: a monitoring framework for economy-wide material loop closing in the EU28. **Journal of industrial ecology**, v. 23, n. 1, p. 62-76, 2019.
- MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael **Cradle to cradle: remaking the way we make things**. 1<sup>a</sup> Ed. North Point Press. New York, 2002.
- MOHER, David *et al.* Guidance for developers of health research reporting guidelines. **PLoS medicine**, v. 7, n. 2, p. e1000217, 2010.
- MORAGA, Gustavo *et al.* Circular economy indicators: What do they measure?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 452-461, 2019.
- MORAGA, Gustavo *et al.* Development of circularity indicators based on the in-use occupation of materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123889, 2021.
- MURRAY, Alan; SKENE, Keith; HAYNES, Kathryn. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of business ethics**, v. 140, p. 369-380, 2017.
- NADERIFAR, Mahin; GOLI, Hamideh; GHALJAIE, Fereshteh. Snowball sampling: A purposeful method of sampling in qualitative research. **Strides in development of medical education**, v. 14, n. 3, p. 1-6, 2017.
- NIERO, Monia; KALBAR, Pradip P. Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 140, p. 305-312, 2019.
- PARCHOMENKO, Alexej *et al.* Measuring the circular economy-A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics. **Journal of cleaner production**, v. 210, p. 200-216, 2019.
- PAULIUK, Stefan. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001: 2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 81-92, 2018.
- PEARCE, David W.; TURNER, R. Kerry. **Economics of natural resources and the environment**. Johns Hopkins University Press, 1989.
- POTTING, José *et al.* Circular economy: measuring innovation in the product chain. **Planbureau voor de Leefomgeving**, n. 2544, 2017.

- REIKE, Denise; VERMEULEN, Walter JV; WITJES, Sjors. The circular economy: new or refurbished as CE 3.0?—exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. **Resources, conservation and recycling**, v. 135, p. 246-264, 2018.
- RINCÓN-MORENO, J. *et al.* Advancing circular economy performance indicators and their application in Spanish companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123605, 2020.
- SAADE, Myriam *et al.* Combining circular and LCA indicators for the early design of urban projects. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 27, n. 1, p. 1-19, 2022.
- SACCO, Pasqualina *et al.* Circular economy at the firm level: A new tool for assessing maturity and circularity. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 5288, 2021.
- SAIDANI, Michael *et al.* A taxonomy of circular economy indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 542-559, 2019.
- SAIDANI, Michael. **Monitoring and advancing the circular economy transition: Circularity indicators and tools applied to the heavy vehicle industry**. 2018. Tese de Doutorado. Université Paris-Saclay (ComUE).
- SASSANELLI, Claudio *et al.* Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 440-453, 2019.
- SINGH, Rajesh Kumar *et al.* An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological indicators**, v. 15, n. 1, p. 281-299, 2012.
- SMOL, Marzena; KULCZYCKA, Joanna; AVDIUSHCHENKO, Anna. Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 19, p. 669-678, 2017.
- STAHEL, W.; REDAY, G. **Report The Potential for Substituting Manpower for Energy**. Geneva Research Centre: Geneva, Switzerland, 1976.
- STAHEL, Walter. **The performance economy**. Springer, 2010.
- SUPERTI, Valeria; HOUMANI, Cynthia; BINDER, Claudia R. A systemic framework to categorize Circular Economy interventions: An application to the construction and demolition sector. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 173, p. 105711, 2021.
- VALLS-VAL, Karen; IBÁÑEZ-FORÉS, Valeria; BOVEA, María D. Tools for assessing qualitatively the level of circularity of organisations: Applicability to different sectors. **Sustainable Production and Consumption**, v. 36, p. 513-525, 2023.
- VINANTE, Christian *et al.* Circular economy metrics: Literature review and company-level classification framework. **Journal of cleaner production**, v. 288, p. 125090, 2021.
- WORLD MANUFACTURING FOUNDATION. **World Manufacturing Forum Report: Recommendations for The Future of Manufacturing**. 2018.