

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Giovanna Groff Andrade Oliveira

Análise Comparativa de Indicadores Circulares no Nível Nano e Micro

Florianópolis

2022

Giovanna Groff Andrade Oliveira

Análise Comparativa de Indicadores Circulares no Nível Nano e Micro

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental
Orientador: Prof. Ma. Carla Tognato de Oliveira.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Oliveira, Giovanna Groff Andrade

Análise comparativa de indicadores circulares no nível nano e micro / Giovanna Groff Andrade Oliveira; orientadora, Carla Tognato de Oliveira, 2022.

64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Economia circular. 3. Indicadores nano. 4. Indicadores micro. 5. Desenvolvimento Sustentável. I. de Oliveira, Carla Tognato . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Giovanna Groff Andrade Oliviera

Análise Comparativa de Indicadores Circulares no Nível Nano e Micro

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 25 de julho de 2022.

Prof^a. Maria Elisa Magri, Dr^a.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a. Carla Tognato de Oliveira, Ma.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Thales Eduardo Tavares Dantas, Me.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng^a. Juliana Francine da Costa, Ma.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Rene e Susan, por todo o carinho, por me incentivarem a sonhar, apoiarem nas minhas escolhas e por nunca terem medido esforços para que eu tivesse acesso à uma boa educação. Ao meu irmão, Gian, pelos conselhos e paciência.

Às minhas amigas que me acompanharam por toda a graduação, nos momentos felizes e nas dificuldades, em especial à Eduarda que foi minha parceira de estudos/trabalhos desde o primeiro semestre até o final. Às minhas amigas do estágio, Amanda, Maria, Martina, Mônica, e Patrícia, por todo apoio e por terem feito esse ano mais leve. À minha amiga, Gabriela, que mesmo de longe esteve presente em muitas noites de estudos por chamadas de vídeo. São todas mulheres incríveis, com as quais aprendo muito.

Agradeço à Carla, por ter aceitado ser minha orientadora, por me apresentar ao tema, pelos ensinamentos e disponibilidade para nas nossas conversas conciliadas nas diferenças de fuso, mas sempre muito boas. Aos doutorandos, Thales e Juliana, por aceitarem fazer parte da minha banca avaliadora. Por fim, sou grata a todos os professores que se dedicam para a transmissão do conhecimento e também às oportunidades de crescimento que tive durante esses cinco anos e meio na Universidade Federal de Santa Catarina.

RESUMO

A população mundial irá crescer e junto a isso, uma grande quantidade de pessoas migrará para a classe média, aumentando consumo e, conseqüentemente, a demanda por recursos naturais. Isso porque, a produção de bens é feita de forma linear, havendo um grande desperdício de materiais e energia. A Economia Circular (EC) prevê mudanças nesse sistema, regenerando os recursos naturais através de um ciclo fechado. Para atingir esse modelo, utiliza-se indicadores que medem e analisam as práticas de circularidade afim de auxiliar nas decisões estratégicas, porém, existe uma grande quantidade de indicadores e nem sempre são claros no que se propõem a medir. Dessa forma, este estudo pretende analisar oito indicadores de circularidade retirados dos resultados de de Oliveira et al. (2020), pertencentes aos níveis nano e micro e que atendem à sustentabilidade, com o objetivo de melhorar sua escolha e utilização e garantir que cumpram seu propósito. A metodologia é dividida em duas fases, na primeira os indicadores são descritos e comparados quanto ao seu tipo, fonte, nível, ciclo, estratégia de EC, estratégia empresarial e serviços, para melhor entendimento do que medem e para que podem ser utilizados. Em seguida, são relacionados com os princípios da EC e com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), para observar se atendem ao que pretendem. Os resultados obtidos demonstram que a maioria pertence ao ciclo técnico e há um enfoque no fim de vida dos produtos, em especial quanto às práticas de reciclagem. Além disso, poucos incluem estratégias empresariais ou podem ser utilizados para serviços. Ao analisar em relação aos princípios, percebeu-se que menos da metade atende aos três e, quanto aos ODS, verificou-se como o ODS 6, sobre gestão da água, é pouco abordada pelos indicadores e é de fundamental ser considerada nas análises. Os indicadores auxiliam a transição entre o linear e circular e devem ser ferramentas de análise que contemplem a complexidade da EC, sem limitar as suas possibilidades. Por fim, sugere-se estudar a intensidade em que os indicadores abordam os princípios e os ODS, uma vez que são assuntos abrangentes e podem não ser contemplados no seu todo.

Palavras-chave: Economia circular, Indicadores nano, Indicadores micro, Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

The world population will grow and along with that, a large number of people will migrate to the middle class, increasing consumption and, consequently, the demand for natural resources. The production of goods is linear, which generates a great waste of material and energy, and this is the main reason for natural resources depletion. The Circular Economy (EC) foresees changes in this system, regenerating natural resources through a closed cycle. To achieve this model, indicators should be used to measure and analyze circularity practices to assist in decisions, however, there are a large number indicators and they are not always clear or useful with what they intend to measure. Thus, this study intended to analyze and compare eight indicators of circularity taken from the results of Oliveira et al. (2020), belonging to the nano and micro levels and that meet sustainability, with the aim of improving their choice and use and ensuring that they fulfill their purpose. The methodology is divided into two phases, in the first the indicators are described and compared in terms of their type, source, level, cycle, EC strategy, business strategy and services, for a better understanding of what they measure and what they can be used for. Then, they are related to the EC principles and the Sustainable Development Goals (SDGs), to see if they meet what they want. The results obtained show that most belong to the technical cycle and there is a focus on the end of life of products, especially regarding recycling practices. In addition, few include business strategies or can be used for services. When analyzing in relation to the principles, it was noticed that less than half meets the three and, as for the SDGs, it was found that SDG 6, on water management, is little addressed by the indicators and is essential to be considered in the analyses. Indicators help the transition between linear and circular and should be analysis tools that address the complexity of CE, without limiting its possibilities. Finally, it is suggested to study the intensity in which the indicators address to the principles and the SDGs, since they are broadly defined, and may not be fully covered.

Keywords: Circular Economy. Nano indicator. Micro indicator. Sustainable development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de tendência no preço das <i>commodities</i>	19
Figura 2 – Diagrama sistêmico dos ciclos.....	23
Figura 3 – Níveis da economia circular.....	24
Figura 4 – Relação entre as práticas de EC e as metas dos ODS	27
Figura 5 – Fluxograma da metodologia	31
Figura 6 – Relação dos indicadores com os 9Rs	53
Figura 7 – Diagrama de Venn	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Abordagens da economia circular	20
Quadro 2 – Estratégias de circularidade	24
Quadro 3 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	27
Quadro 4 – Categoria de indicadores de circularidade	29
Quadro 5– Indicadores que abordam o tripé da sustentabilidade	30
Quadro 6 – Categorias de comparação	33
Quadro 7 – Categorias de comparação para os princípios da EC	34
Quadro 8 – ODS relacionado às práticas de EC	36
Quadro 9 – Indicadores SPI	38
Quadro 10 – Indicadores BPI	39
Quadro 11 – Indicadores SCI	41
Quadro 12 – Indicadores ZWP	42
Quadro 13 – Indicadores SIAS	44
Quadro 14 – Indicadores CBM-IS	45
Quadro 15 – Indicadores MCEM-PLCS	47
Quadro 16 – Indicadores PR-MCDT	49
Quadro 17 – Tabela comparativa dos indicadores	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concordância dos indicadores com os ODS.....	56
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

EC Economia Circular

EMF Ellen McArthur Foundation

FdV Fim de Vida

ODS Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ACV Avaliação do Ciclo de Vida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	ECONOMIA LINEAR E SUAS IMPLICAÇÕES.....	17
2.2	ECONOMIA CIRCULAR.....	20
2.3	O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E O MODELO CIRCULAR	25
2.4	INDICADORES DE ECONOMIA CIRCULAR	28
3	METODOLOGIA.....	30
3.1	FASE 1: ESCOLHA E UTILIZAÇÃO DOS INDICADORES	31
3.1.1	Etapa I - Compreensão dos indicadores	32
3.1.2	Etapa II – Comparação	32
3.2	FASE 2: RELAÇÃO COM EC E OS ODS.....	34
3.2.1	Etapa I - Princípios da EC	34
3.2.2	Etapa II - Sustentabilidade	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1	DESCRIÇÃO DOS INDICADORES.....	38
4.1.1	Sustainability Performance Indicators (SPI)	38
4.1.2	End of Life Best Practice Indicators (BPI).....	39
4.1.3	Sustainable Circular Index (SCI).....	40
4.1.4	Expended Zero Waste Practice Model (ZWP).....	42
4.1.5	Set of Indicators to Assess Sustainability (SIAS).....	44
4.1.6	Circular Business Model Set of Indicators based on Sustainability (CBM-IS)	

4.1.7	Multi-Criteria Evaluation Method of Product-Level Circularity Strategies (MCEM-PLCS)	47
4.1.8	Product Recovery Multi-Criteria Decision Tool (PR-MCDT)	48
4.2	ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS INDICADORES	49
4.3	ANÁLISE QUANTO AOS PRINCÍPIOS DA EC E AOS ODS	54
4.3.1	Princípios da EC	54
4.3.2	Sustentabilidade	56
5	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

O modelo de organização na produção de bens e serviços na sociedade é predominantemente linear, ou seja, os recursos são extraídos, passam pelo processo de produção, são utilizados pela sociedade e depois descartados, ignorando as externalidades. Com isso, extraímos mais recursos naturais do que o planeta pode fornecer e desperdiçamos materiais na cadeia de produção e no seu descarte, e a energia inerente a eles. Somado a esse contexto já existente, está o agravante de que, além do crescimento populacional previsto até 2100, estima-se que 3 bilhões de pessoas emerjam para a classe média até 2030 e se tornem novos consumidores (EMF, 2013).

Em vista disso, a ideia de Economia Circular (EC) ganha espaço como forma de mitigar os impactos da prática unidirecional, buscando um sistema econômico restaurativo e menos nocivo ao meio ambiente (ROCHA, 2020). Para isso, visa-se a recuperação dos materiais na produção e no consumo, e a substituição do conceito de fim de vida por estratégias de circularidade como redução, reuso e reciclagem (KIRCHHERR et al., 2017).

A EC é um conceito amplo, mas é possível definir três princípios. O primeiro é preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis, o segundo é otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico e, por fim, o terceiro consiste em estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio (EMF, 2017). Dessa forma, a implementação de princípios da EC é cada vez mais recomendada como solução conveniente para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (SAIDANI et al., 2019).

Para realizar a transição entre os modelos, linear e circular, é importante ter ferramentas que possam medir a circularidade auxiliando na definição de objetivos e estratégias, os indicadores. Existem indicadores capazes de medir diferentes critérios em diferentes níveis de circularidade e, por isso, é necessário entender qual o melhor uso de cada indicador e o que ele está de fato medindo. Além disso, existem diversos indicadores e a escolha do mais adequado para a avaliação pode ser um desafio (SAIDANI et al., 2017).

Diante do exposto, este trabalho visa analisar e comparar os indicadores de economia circular que abrangem os níveis nano e micro e, assim, espera-se melhorar sua escolha e utilização. Além disso, também é verificado se estão de acordo com os princípios da EC e com os ODS, para que de fato auxiliem na transição para um modelo mais sustentável a longo prazo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar os indicadores que pretendem mensurar a circularidade nos níveis nano e micro.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Descrever o funcionamento de cada um dos indicadores que atendem à sustentabilidade e aos níveis nano e micro;
- Analisar e comparar os critérios dos indicadores escolhidos;
- Verificar se os indicadores atendem de fato aos princípios da economia circular e à sustentabilidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ECONOMIA LINEAR E SUAS IMPLICAÇÕES

A economia linear surgiu no século XVIII, com as inovações científicas e tecnológicas da Revolução Industrial (PRIETO-SANDOVAL, 2018), que possibilitaram a queda nos custos de produção, diminuição no preço dos alimentos e elevação da renda per capita. Assim, a população mudou seu padrão de consumo e passou a desejar itens manufaturados, para além da sua necessidade (RAUEN, 2006). Dessa forma, teve início o modelo que se baseia na produção unidirecional, ou seja, os recursos naturais são utilizados pelas fábricas para a produção em massa de bens, que muitas vezes são utilizados uma única vez, e depois, descartados. Assim, em um curto período, o produto no fim de vida (FdV) é encaminhado para lixões ou aterros sanitários, em geral, sem nenhum tipo de reaproveitamento (ESPOSITO; TSE; SOUFANI, 2015).

A sociedade se estruturou em torno desse modelo e a valorização da produção sem limites se tornou extremamente importante de modo que, atualmente, a economia de cada país é avaliada através do Produto Interno Bruto (PIB), um indicador de saúde econômica que mede a prosperidade com base na produção de produtos e serviços (RAWORTH, 2017). No entanto, essa produção que mantém a economia pode não ser sustentável a longo prazo. De acordo com um relatório *Towards the Circular Economy* elaborado pela The Ellen MacArthur Foundation e pela McKinsey (2013), o modelo de produção de extrair-produzir-descartar enfrenta diversas limitações. Dentre elas, a erosão dos ecossistemas e o desperdício de energia e de recursos naturais, na cadeia de produção e no fim de vida.

- **Erosão dos ecossistemas:** A humanidade tem extraído mais do que o planeta consegue fornecer, ou seja, não estamos em um modelo sustentável. Os ecossistemas, como florestas, garantem o bem-estar da população e sua perda tem um alto custo econômico também. À exemplo, o desmatamento na China sozinho custou 12 bilhões por ano entre 1950 e 1998, tendo esse valor dividido em diversas esferas: fornecimento de água, perdas na agricultura, conservação do solo, enchentes, entre outros.
- **Uso de energia:** No sistema linear, o uso de energia é mais alto no início da cadeia de suprimento, onde ocorre a extração e transformação em um material usável, assim, o descarte em aterros ou lixões significa uma grande perda de energia

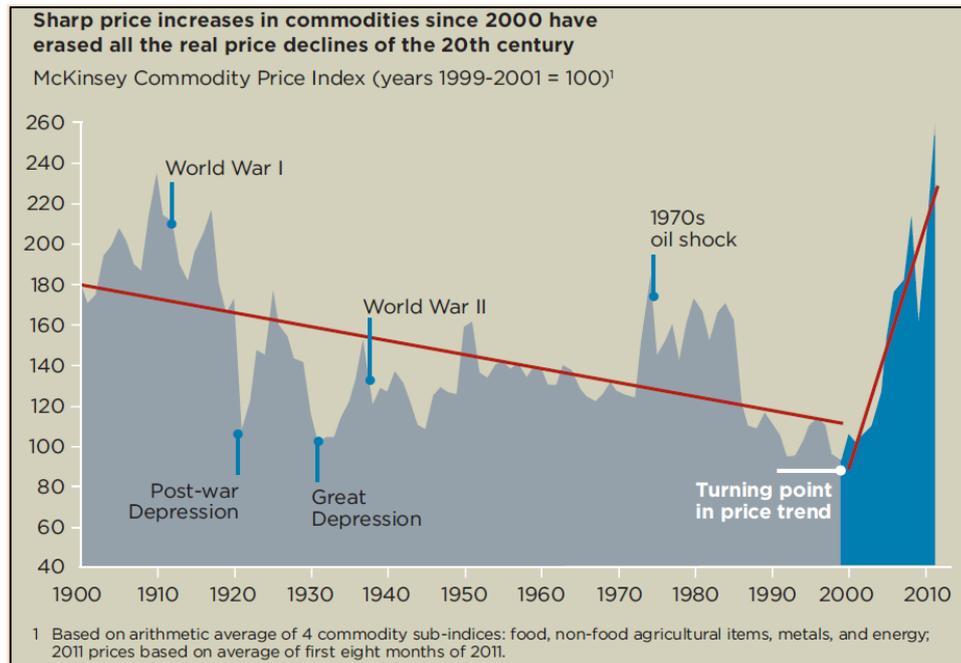
residual. O reuso recupera grande parte dessa energia e a incineração ou reciclagem recuperam também, mas menos que o reuso. No entanto, atualmente, essa energia é desperdiçada pois tem-se a preferência por utilizar novos materiais cada vez que um produto é manufaturado.

- **Perdas na cadeia de produção:** Da extração ao produto final ocorrem diversas perdas, estimados pelo Instituto Europeu de Pesquisa em Sustentabilidade (SERI) em 21 bilhões de toneladas por ano de materiais que não são incorporados ao sistema.
- **Fim de vida:** Para a maioria dos materiais, a taxa de recuperação após o fim de vida é baixa. No Brasil, pelo registro da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais ABRELPE (2018), somente 22% das embalagens utilizadas no mercado foram recicladas. Na Europa, dos 2,7 bilhões de toneladas de resíduos gerados em 2010, somente 40% teve um reuso, foi reciclado ou compostado. Além disso, grande parte dessa taxa representa apenas alguns tipos de resíduos que são encontrados de forma homogênea e em grande volume.

Além disso, o relatório também analisa os desequilíbrios econômicos gerados por esse modelo, que interferem no crescimento da economia, e outros fatores que influenciam nas perspectivas de futuro da economia linear. Em relação ao desequilíbrio econômico, ele ocorre devido ao esgotamento das reservas de recursos naturais de fácil acesso, sendo necessário mais tecnologia para a extração e tornando mais fáceis eventuais interrupções na cadeia de suprimentos. Além disso, também há o aumento no custo de transporte devido à distância das reservas ainda não esgotadas e suscetibilidade aos eventos climáticos e políticos (EMF, 2013).

Dessa forma, ao não valorizar a energia e os recursos naturais, cria-se uma grande volatilidade e aumento no preço das *commodities*, o que pode ser um problema para um sistema no qual os ganhos da eficiência econômica são resultados do baixo custo no uso de recursos, como energia, para reduzir os custos do trabalho (EMF, 2013). Na Figura 1, observa-se que no século 20 houve uma tendência de queda no preço das *commodities* e que o mesmo não é esperado para este século.

Figura 1 – Gráfico de tendência no preço das *commodities*.



Fonte: EMF e McKinsey & Company (2013).

Dentre os fatores que influenciam nas perspectivas de futuro da economia linear expostos pela Fundação estão as expectativas populacionais, demográficas e os riscos políticos e climáticos. Estima-se que a população mundial deva atingir 9,7 bilhões de pessoas até 2050, 2 bilhões a mais do que em 2017 (ONU, 2017), e deve estabilizar em 10 bilhões até 2100. No entanto, apesar de ser um grande aumento, os dados demográficos se tornam mais relevantes ao esperarmos que, devido ao crescimento econômico de países emergentes como a China e Índia, 3 bilhões de pessoas emerjam para a classe média até 2030, implicando em um aumento no poder de compra e, portanto, um grande impacto na demanda por recursos.

Em relação aos riscos políticos é importante ressaltar que cerca de 80% de toda a terra que pode ser usada para o cultivo está localizada em áreas com problemas políticos ou de infraestrutura, ou seja, a produção ou exportação depende da colaboração de governos instáveis ou do investimento em infraestrutura. Já para os riscos climáticos, espera-se consequências em especial para a agricultura e para a água, e a incertezas tendem a aumentar os preços e a volatilidade (EMF, 2013).

Por fim, observa-se que a facilidade de obtenção de novos recursos e o descarte barato colaboraram para que as externalidades fossem ignoradas, mas existem grandes limitações ao modelo linear, tanto devido às questões econômicas, quanto ambientais. A partir das problemáticas apresentadas, surge o conceito de Economia Circular.

2.2 ECONOMIA CIRCULAR

O desenvolvimento da EC começou a ganhar espaço nas discussões em 1970 e não pode ser atribuído a um único autor ou a uma única data. O conceito foi se desenvolvendo tendo como base algumas escolas de pensamento, como o design regenerativo, economia de performance, do berço ao berço (C2C), ecologia industrial, biomimética, economia azul e o capitalismo natural (EMF, 2013). Estas principais abordagens estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1– Abordagens da economia circular

Abordagem	Autor criador	Descrição
Design regenerativo	Lyle (1996)	Processos que restauram, renovam ou revitalizam suas próprias fontes de energia e materiais. Desenvolvimento de produtos com novas matérias-primas, gerando sistemas sustentáveis que integram as necessidades da sociedade com a natureza.
Economia de performance	Stahel (2010)	O foco é a indústria adotar a reutilização e a extensão da vida dos serviços como uma estratégia de prevenção de resíduos, criação regional de empregos e eficiência de recursos para desmaterializar a economia industrial
C2C	McDonough e Braungart (2010)	O objetivo é criar um sistema produtivo circular, onde não existe o conceito de lixo. Tudo é nutriente para um novo ciclo e resíduos são nutrientes que circulam em ciclos contínuos (MCDONOUGH;BRAUNGART, 2010)
Ecologia industrial	Graedel e Allenby (2003)	Um ecossistema industrial não pode ser visto isoladamente do seu sistema circundante, mas em conjunto com eles. É uma visão de sistemas em que se busca otimizar o ciclo total de materiais: da matéria virgem, até material acabado, componente, produto, produto obsoleto e disposição final (GRAEDEL; ALLENBY, 2003)
Biomimética	Benyus (2002)	Estuda as melhores ideias da natureza e, em seguida, imita esses projetos e processos para fornecer soluções inovadoras e sustentáveis para o desenvolvimento da indústria e da pesquisa
Economia azul	Pauli (2010)	Destaca os benefícios na conexão e combinação de problemas ambientais aparentemente díspares com soluções científicas de código aberto, com base em seu ambiente local e características físicas e ecológicas

Continua.

Quadro 1 – Abordagens da economia circular (continuação)

Capitalismo natural	Hawken et al. (2013)	Refere-se aos estoques de ativos naturais, incluindo solo, ar, água e todos os seres vivos. O objetivo é a conservação de recursos através de processos de fabricação mais efetivos, a reutilização de materiais encontrados em sistemas naturais, a mudança de valores de quantidade para a qualidade e a investir em capital natural (HAWKEN et al., 2013)
---------------------	----------------------	--

Fonte: de Oliveira (2018).

A economia circular se apresenta como um conceito amplo, com rápido crescimento na quantidade de trabalhos acadêmicos publicados nos últimos anos e, por isso, possui algumas definições divergentes (KIRCHHERR et al., 2017). Nesse contexto, Kirchherr et. al (2017) analisou 114 definições na literatura e conceituou a economia circular como sendo um sistema econômico que busca substituir o conceito de fim-de-vida, através da redução, reuso, reciclagem e recuperação dos materiais, tanto no processo de produção quanto de consumo, com o objetivo de atingir o desenvolvimento sustentável, e assim, garantir proteção ambiental, prosperidade econômica e equidade social.

Além disso, segundo Geissdoerfer et al. (2017, p.759) e Schut et al. (2015, p.15), a definição da Ellen Macarthur Foundation é a mais empregada e a mais proeminente (KIRCHHERR et al., 2017). Pela sua caracterização, a EC não se restringe apenas a produtos e inclui também os serviços, sendo a EC é definida por ela como sendo:

“A economia circular refere-se a uma economia industrial que é restaurativa por intenção; visa contar com energia renovável; minimizar, rastrear e eliminar o uso de produtos químicos tóxicos; e erradicar o desperdício através de um design cuidadoso. O termo vai além da mecânica de produção e consumo de bens e serviços nas áreas que busca redefinir (exemplos incluem a reconstrução do capital, incluindo social e natural, e a mudança de consumidor para usuário).” (EMF, 2013)

A EMF (2017) também define três princípios da EC, o primeiro é preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis, o segundo é otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico e, por fim, o terceiro consiste em estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio.

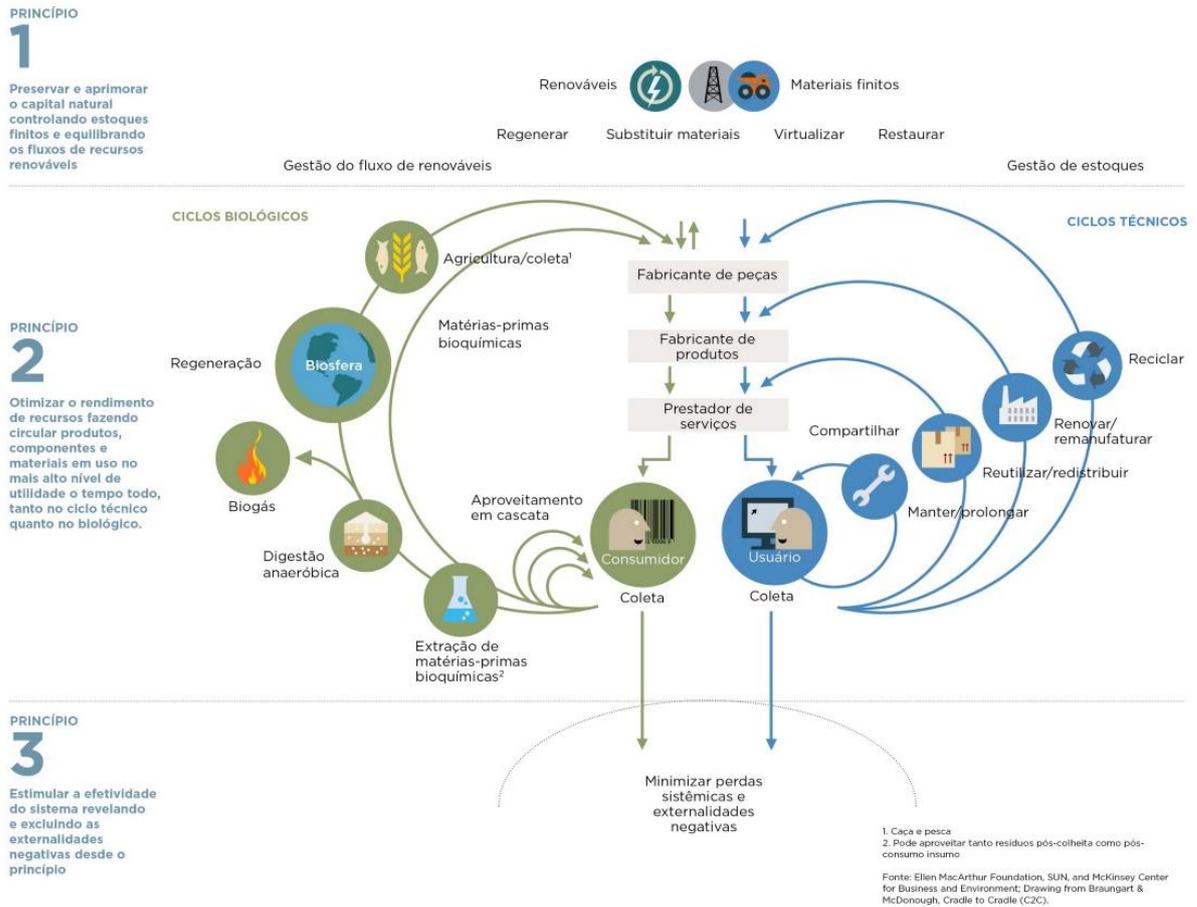
Para além, a EMF (2013) acrescenta que devem estar contidos em um modelo circular o design sem resíduos, a resiliência através da diversidade, o uso energia de fontes renováveis,

o pensamento sistêmico e a ideia de que resíduo é alimento, conforme detalhado nos itens abaixo.

- **Design sem resíduos** (“*Design out waste*”): O produto deve ser desenhado para ser usado novamente, mantendo a qualidade, e, no ciclo, não deve existir resíduo.
- **Resiliência através da diversidade** (“*Build resilience through diversity*”): A modularidade, versatilidade e adaptatividade devem ser prioridade, para que se possa adaptar a diferentes ambientes, assim como os sistemas naturais da terra.
- **Uso da energia de fontes renováveis** (“*Rely on energy from renewable sources*”): Deve-se priorizar o uso de energias renováveis.
- **Pensamento sistêmico** (“*Think in systems*”): Entender como cada parte do sistema influencia no todo. Considerar a relação dos elementos na estrutura e analisar a integração destes.
- **Resíduo é alimento** (“*Waste is food*”): Os nutrientes biológicos devem ter seus materiais reintroduzidos de volta à biosfera, de forma restaurativa e não tóxica, enquanto que, para os nutrientes técnicos, deve-se investir na qualidade para possibilitar o *upcycling* - reutilização do material sem perder a qualidade do produto original, ou até, melhorando-a.

A divisão entre os ciclos biológicos e técnicos é feita originalmente na abordagem C2C e a separação é importante devido ao tratamento diferente que existe aos materiais tanto em vida, como no seu fim (EMF, 2013). Os componentes biológicos devem ser projetados para entrar na biosfera, uma vez que são biodegradáveis e retornam valor ao meio ambiente, enquanto que os técnicos, são materiais não-renováveis e, por isso, não devem entrar na biosfera. Por terem essa característica, os nutrientes técnicos têm de ser projetados para serem desmontados facilmente e com a capacidade de conservar a qualidade do material, ou melhorá-la, mantendo os ciclos industriais fechados (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2010 apud DE OLIVEIRA, 2018). Na Figura 2, visualiza-se os fluxos de cada ciclo, assim como os princípios da EC.

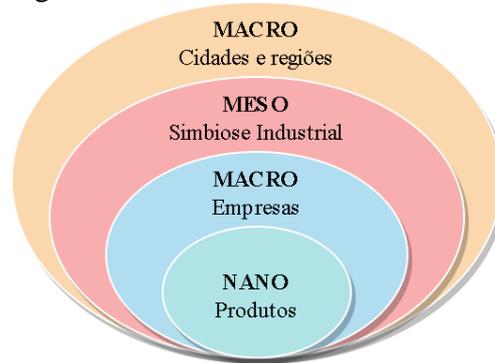
Figura 2 – Diagrama sistêmico dos ciclos



Fonte: EMF (2017).

Além da divisão por ciclos, é possível pensar a economia circular em diferentes níveis, como o macro, meso, micro e nano. O nível macro compete às cidades e regiões e engloba a estrutura dos sistemas, como transporte e energia, o nível meso se refere à parques industriais ou associações empresariais, e o micro, à uma única empresa. O nível nano deriva do micro e diz respeito à produto ou seus componentes. Foi relevante dissociá-lo do micro para evitar desentendimento quanto ao seu objetivo, e permitir o foco em um assunto central para a EC (SAIDANI et al., 2017). A Figura 3 ilustra os níveis da EC.

Figura 3 – Níveis da economia circular



Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2020).

Para conquistar o ciclo fechado, a EC utiliza algumas estratégias como a dos 3Rs: Redução, Reutilização e Reciclagem. É preciso reduzir tanto os materiais utilizados na produção quanto a quantidade de consumo do produto, reutilizar para prolongar a sua vida útil, e reciclar para reduzir a quantidade de resíduos (DE OLIVEIRA, 2018). A estratégia dos Rs pode diferir quanto à sua quantidade, como é o caso dos 9Rs descritos por Potting et al. (2017) e apresentados na Quadro 2.

Quadro 2 – Estratégias de circularidade

Produção e manufatura mais inteligentes	R0	Recusar	Tornar o produto redundante abandonando sua função ou oferecendo a mesma função com produto radicalmente diferente
	R1	Repensar	Tornar o uso do produto mais intensivo (por exemplo, compartilhando produtos ou colocando produtos multifuncionais no mercado)
	R2	Reduzir	Aumentar a eficiência na fabricação ou uso de produtos consumindo menos recursos naturais e materiais
Estender a vida útil dos produtos ou de suas partes	R3	Reusar	Reutilização por outro consumidor de um produto descartado que ainda esteja em boas condições e cumpra sua função original
	R4	Reparar	Reparação e manutenção de produto defeituoso
	R5	Recondicionar	Restaurar um produto antigo e atualizá-lo
	R6	Remanufatura	Use partes do produto descartado em um novo produto com a mesma função
	R7	Reaproveitar	Use o produto descartado ou suas peças em um novo produto com a mesma função

Continua.

Quadro 2 – Estratégias de circularidade (continuação)

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: Adaptada Potting et al. (2017).

Os Rs estão organizados por ordem de prioridade e, assim, é preferível primeiro ter um uso do produto e produção mais inteligentes, depois tentar prolongar a vida útil e, só por fim, fazer a aplicação útil dos materiais. Para este, existe a possibilidade de reciclagem ou incineração. A reciclagem só deve ser aplicada quando for preciso recuperar o valor dos materiais, e a incineração é a última opção, uma vez que a energia é recuperada, mas os componentes não podem mais ser reutilizados (POTTING et al., 2017).

De forma geral, quanto maior é o seu nível de circularidade, mais tempo o material permanece na cadeia de suprimentos e menos recursos naturais são necessários para a produção de um novo produto. Assim, o meio ambiente se beneficia da extração de recurso que é poupada. Existem alguns casos particulares à essa regra, principalmente na reciclagem química de plásticos, em que tornar o ciclo do produto fechado pode ocasionar no aumento do uso de recursos, como energia, para decompor o material. (POTTING et al, 2017).

As estratégias são importantes formas de buscar o modelo circular, mas existem outros aspectos que devem ser considerados para efetivamente atingi-lo. Um deles é o *business model*, já que uma empresa deve ser capaz de sobreviver às mudanças propostas para que seja viável e, por isso, é importante considerar a realidade do mercado existente, o custo efetivo, as perspectivas de transição (FRANCO, 2021). Além disso, segundo Teece (2010), o *business model* é mais genérico que *business strategy*, mas a análise estratégica é fundamental para o design de um modelo competitivo e sustentável.

2.3 O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E O MODELO CIRCULAR

O conceito de sustentabilidade é consequência de um processo histórico de análise da relação entre o meio ambiente e sociedade e, por pertencer a um contexto complexo e em constante mudança, existem diferentes abordagens. Uma das mais conhecidas é o do *Relatório de Brundtland*, elaborado pela *World Commission on Environment and Development* (1987) (HANS, 2002). O relatório introduziu o conceito de Desenvolvimento Sustentável (DS) como um processo que deve atender às nossas necessidades sem comprometer as gerações atuais e

futuras. É importante ressaltar que a sustentabilidade é atingida através do desenvolvimento sustentável (SOUZA; ARMADA, 2017)

Em 1994, John Elkington criou o conceito de *Triple Bottom line*, ou tripé da sustentabilidade, com o objetivo de incentivar empresas a gerenciar e investigar os aspectos sociais, ambientais e econômicos (ELKINGTON, 2018). O tripé foi pensado pois é importante que a empresa não cause danos permanentes ao meio ambiente, seja justa com os colaboradores e sociedade e ainda seja atraente para investidores (DE OLIVEIRA et al., 2012). Assim, segundo Geissdoerfer et al. (2017), a sustentabilidade pode ser definida como sendo a “integração equilibrada do desempenho econômico, inclusão social e meio ambiente, para o benefício das atuais e futuras gerações”

Conforme a definição de economia circular proposta por Kirchherr et al. (2017), o objetivo da EC é atingir o desenvolvimento sustentável e além dele, outros autores também relacionam a EC com o DS. Shulin Li (2012) propõe que a EC é um modelo econômico que deseja a proteção ambiental, deve prevenir a poluição e buscar o desenvolvimento sustentável, e Franco (2021) também afirma que a circularidade visa apoiar as organizações na tomada de decisões estratégicas em relação à sustentabilidade.

Assim, a EC e o DS estão relacionados e, por isso, apresentam características similares. Dentre as similaridades está o atendimento ao *triple bottom line* e nas diferenças está a presença dos ciclos técnicos e biológicos e o conceito de FdV, presentes na EC (TOSSI et al., 2018). A sustentabilidade não contempla diversos aspectos da economia circular, mas a EC se apoia e se fundamenta na sustentabilidade (AWUAH e BOOTH, 2014 apud TOSSI, 2017). Além disso, segundo Tossi et al. (2017) a EC é uma estratégia de DS, uma ferramenta que “auxiliará as empresas a alcançarem o proposto pelo tripé da sustentabilidade”.

Diferentemente da EC, a sustentabilidade não possui princípios definidos. No entanto, em 2015, a ONU estabeleceu a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nesta, constam dezessete objetivos e metas para os próximos anos, conhecidos por Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), conforme apresentado na Quadro 3 (ONU, 2022). Vale ressaltar que abrangem as três dimensões e a maioria destes objetivos se relacionam entre si (RODRIGUEZ-ANTON et al., 2019).

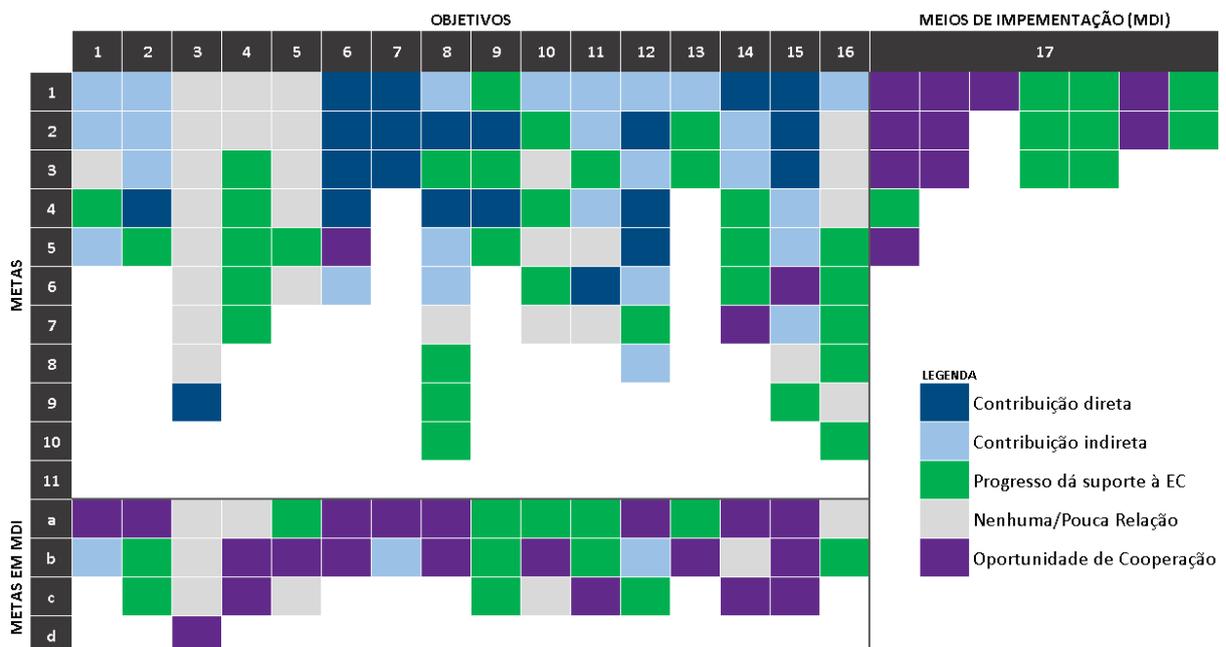
Quadro 3 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ODS 1	Erradicação da pobreza	ODS 10	Redução das desigualdades
ODS 2	Fome zero e agricultura sustentável	ODS 11	Cidades e comunidades sustentáveis
ODS 3	Saúde e bem-estar	ODS 12	Consumo e produção responsáveis
ODS 4	Educação de qualidade	ODS 13	Ação contra a mudança global do clima
ODS 5	Igualdade de gênero	ODS 14	Vida na água
ODS 6	Água potável e saneamento	ODS 15	Vida terrestre
ODS 7	Energia limpa e acessível	ODS 16	Paz, Justiça e Instituições Eficazes
ODS 8	Trabalho decente e crescimento econômico	ODS 17	Parcerias e meios de implementação
ODS 9	Indústria, inovação e infraestrutura		

Fonte: ONU Brasil (2022).

Segundo Schroeder et al. (2018), as práticas de circularidade podem contribuir com alguns ODS, sendo que as que possuem maior contribuição direta são os ODS 6, 7, 8, 12 e 15. As relações entre a EC e cada meta dos ODS estão apresentadas na Figura 4.

Figura 4 – Relação entre as práticas de EC e as metas dos ODS



Fonte: Adaptado de Schroeder et al. (2018).

2.4 INDICADORES DE ECONOMIA CIRCULAR

A economia circular ganha cada vez mais protagonismo nas pesquisas e, para avaliar a implementação das práticas e orientar as decisões para atingir o modelo, são necessárias ferramentas conhecidas como indicadores (PIRES, 2021). Estes, assim como a EC, não possuem uma única definição (SAIDANI et al. 2019). De acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (2014), um indicador tem por objetivo refletir as mudanças ou monitorar o progresso, de forma simples e confiável, através de um fator ou variável, sendo estes quantitativo ou qualitativo.

Os indicadores foram desenvolvidos para ajudar as práticas de circularidade a se encaixarem nos seus objetivos, uma vez que, medem o progresso, desempenho e tornam as informações mais simples. Assim, são instrumentos gerenciais e de formulação de políticas, utilizados para criar metas e analisá-las ou comunicar externamente sobre questões importantes (SAIDANI et al. 2019). Para Su et al (2013), eles também devem ser capazes de colaborar para a identificação de problemas.

Além disso, segundo de Oliveira et al. (2021), os indicadores de circularidade podem ser definidos como:

“Indicadores de circularidade podem ser entendidos como ferramentas analíticas voltadas para medir o grau de associação de um sistema (ou parte de um) às práticas e estratégias aplicadas para atingir os princípios da EC. Nesse sentido, maior circularidade significa que um item ou sistema específico está mais perto de atingir os objetivos definidos pelas normas orientadoras da EC.” (DE OLIVEIRA et al., 2021)

Existe uma grande quantidade de indicadores e para facilitar a escolha, eles são classificados em categorias (LÜTZKENDORF; BALOUKTSI, 2017). As categorias propostas por Saidani et al. (2019) estão apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Categoria de indicadores de circularidade

Categoria	Opções de categoria
Níveis	Micro, meso e macro
Ciclos	Manutenção, reutilização/remanufatura e reciclagem
Desempenho	Intrínseca, impactos
Perspectiva	Atual, potencial
Usos	Referência, comunicação
Transversalidade	Genérico ou específico de um setor
Dimensões	Uni ou multi direcional
Unidades	Qualitativa ou quantitativa
Formato	Excel, fórmulas
Fontes	Acadêmica, empresarial ou de agências

Fonte: Adaptado de Saidani et al. (2019).

Como a EC possui diferentes definições, os indicadores podem não ser muito explícitos no que pretendem medir, gerando erros na interpretação dos resultados. Além disso, já existe uma considerável quantidade de indicadores e pode ser um desafio encontrar o mais adequado para a avaliação (SAIDANI et al. 2019).

3 METODOLOGIA

Este estudo propõe uma análise e comparação dos indicadores do nível nano e micro, de forma auxiliar a sua utilização e garantir que atendam de fato aos princípios da economia circular e aos ODS. Foram selecionados oito indicadores ao total (Quadro 5), tendo como base o artigo “*Nano and micro level circular economy indicators: Assisting Decision-makers in circularity assessments*”, elaborado por de Oliveira et al (2020). A escolha corresponde aos indicadores do nível nano e micro e que contemplam as dimensões social, econômica e ambiental, já partindo do entendimento que a EC deve atender ao DS.

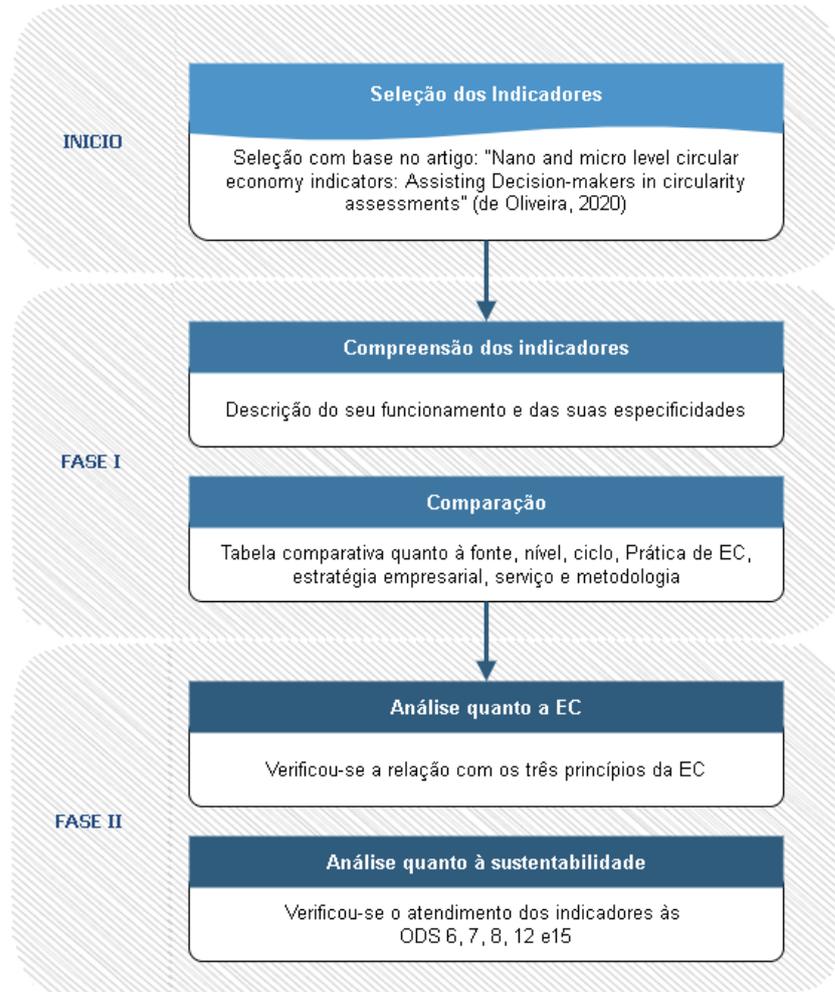
Quadro 5– Indicadores que abordam o tripé da sustentabilidade

Nome	Nome Artigo	Fonte
<i>Sustainability Performance Indicators (SPI)</i>	<i>Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model</i>	Mesa et al. (2018)
<i>End of Life Best Practice Indicators (BPI)</i>	<i>Indicators to Measure the Management Performance of End-of-Life Gypsum: From Deconstruction to Production of Recycled Gypsum</i>	Jiménez-Rivero and García-Navarro (2016)
<i>Sustainable Circular Index (SCI)</i>	<i>Proposal of a Sustainable Circular Index for Manufacturing Companies</i>	Azevedo et al. (2017)
<i>Expended Zero Waste Practice Model (ZWP)</i>	<i>The need for better measurement and employee engagement to advance a circular economy: Lessons from Biogen’s “zero waste” journey</i>	Veleva et al. (2017)
<i>Set of Indicators to Assess Sustainability (SIAS)</i>	<i>Grey Decision Making as a tool for the classification of the sustainability level of remanufacturing company</i>	Golinska et al. (2015)
<i>Circular Business Model Set of Indicators based on Sustainability (CBM-IS)</i>	<i>Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases</i>	Rossi et al. (2020)
<i>Multi-Criteria Evaluation Method of Product-Level Circularity Strategies (MCEM-PLCS)</i>	<i>A Multi-Criteria Evaluation Method of Product-Level Circularity Strategies</i>	Alamerew et al. (2020)
<i>Product Recovery Multi-Criteria Decision Tool (PR-MCDT)</i>	<i>Circular economy assessment tool for end-of-life product recovery strategies</i>	Alamerew and Brissaud (2019)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A metodologia está dividida em 2 fases: (1) Compreensão e comparação dos indicadores (2) Verificação quanto ao cumprimento aos princípios da EC e aos ODS. Cada fase é dividida em duas etapas distintas, conforme o fluxograma apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As fases e suas respectivas etapas são apresentadas a seguir.

3.1 FASE 1: ANALISE DOS INDICADORES

Após a seleção, dá-se início a primeira fase da metodologia, que busca auxiliar na escolha e utilização dos indicadores. Essa fase é dividida em duas etapas: (i) Compreensão dos indicadores; (ii) Comparação dos indicadores.

3.1.1 Etapa I - Compreensão dos indicadores

Na Etapa I, foi feita a análise dos oito artigos que apresentam os indicadores selecionados, apresentados anteriormente no Quadro 5.

Com base nesses documentos, realizou-se uma breve descrição de forma a entender o seu funcionamento, suas especificidades, critérios e usos. Deu-se enfoque para a origem do indicador, se há a necessidade de um especialista para utilizá-lo, qual o tipo de metodologia, se existem exemplos práticos, qual a estratégia de circularidade empregada, o porque foram criados e para que devem ser utilizados. Também foram listados os critérios, ou sub-indicadores, de cada ferramenta, para entender a fundo os pontos abordados por elas.

3.1.2 Etapa II - Comparação

Na Etapa II, realizou-se uma comparação dos indicadores e, para isso, utilizou-se como base as categorias feitas por Saidani et al. (2019), Franco (2021) e Kristensen e Mosgaard (2020), e as definições feitas por Potting et al. (2017), inicialmente indicadas no 2.2 da revisão.

Em vista a complementar as categorias já levantadas pelos autores, viu-se a necessidade de adicionar mais duas categorias. Essas novas categorias trazem a noção dos ciclos biológico e técnico, bem como a possibilidade de medir serviços. As categorias selecionadas para a comparação estão apresentadas na Quadro 6.

Quadro 6 – Categorias de comparação

Categoria	Opções de categoria	Fonte
Fontes	Acadêmica, Empresarial, Agências	Saidani et al. (2019)
Tipo	Indicadores quantitativos únicos, Ferramentas analíticas, Conjuntos de indicadores compostos	Kristensen e Mosgaard (2020)
Nível	Macro, Meso, Micro, Nano	Saidani et al. (2019)
Ciclos	Biológico, Técnico	EMF (2013)
Prática de EC	Recusar, repensar, reduzir, reusar, reparar, recondicionar, remanufatura, reaproveitar, reciclar, recuperar	Potting et al. (2017)
Estratégia empresarial	Sim, não	Franco (2021)
Serviço	Sim, não	Elaboração própria (2022)
Metodologia	De acordo com o apresentado pelos autores dos indicadores	Franco (2021)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A fim de classificar os indicadores nas categorias, foi necessário delimitar alguns aspectos. Assim, quanto ao tipo, entende-se por indicadores quantitativos únicos aqueles que possuem um ou mais critérios quantitativos, por ferramentas analíticas os que envolvem critérios qualitativos, como questionários, e que necessitam da análise dos *stakeholders* ou tomadores de decisão, e por conjunto de indicadores compostos, os que apresentam outras ferramentas mais complexas na sua formação, que não se resumem à uma equação, como a ACV.

Em relação aos níveis, eles já foram previamente definidos pelo artigo utilizado para a seleção dos indicadores, sendo apenas nos níveis nano, micro ou ambos. Além disso, considerou-se que os indicadores atendem o ciclo biológico ou técnico com base nas práticas de circularidade adotadas, ou seja, caso as práticas meçam soluções como compostagem e incineração, o indicador atende ao ciclo biológico, mas caso só possua técnicas como remanufatura e reciclagem, atende ao ciclo técnico.

A identificação das práticas de circularidade foi feita com base nas listas de critérios dos indicadores, com exceção do MCEM-PLCS e PR-MCDT que definiram no artigo as opções de estratégias a serem consideradas pelo tomador de decisão.

A estratégia empresarial deve considerar questões de mercado, como *market share* e custo efetivo, para que garantam a viabilidade da transição. Os serviços são, de acordo com o Decreto nº2.181/1997, quaisquer atividades remuneradas prestada por pessoa física ou jurídica.

Tanto a estratégia empresarial quanto os serviços, consideraram-se que foram abordados quando explicitados pelo autor

3.2 FASE 2: RELAÇÃO COM EC E OS ODS

Na segunda fase, verificou-se a ligação dos indicadores em relação à sustentabilidade e os princípios da economia circular. Sendo assim, a Fase 2 está dividida nas etapas: (i) Princípios da economia circular; (ii) Sustentabilidade.

3.2.1 Etapa I - Princípios da EC

Na análise quanto à economia circular, considerou-se os princípios definidos pela EMF (2020), no entanto, estes princípios podem se sobrepor e ser interpretados de formas diferentes. Por isso, delimitou-se a relação deles com os indicadores, conforme exposto na Quadro 7.

Quadro 7 – Categorias de comparação para os princípios da EC

Categoria	Crítérios Utilizados
1) Preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis	Entende-se que o capital natural é preservado quando o indicador prevê a substituição de fontes finitas por renováveis (energia), analisa a quantidade de material virgem utilizado, repensa o tipo de material ou o design do produto de modo a economizá-lo, e inclui a análise sobre o ciclo da água.
2) Otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico	Interpreta-se que os recursos são otimizados através das estratégias de circularidade, como os 9Rs de Potting et al (2017), descritas no item 2.2.
3) Estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio	Neste item, considerou-se os indicadores que analisaram a quantidade de resíduo gerado ou a eficiência das estratégias de circularidade, os que objetivam lixo zero, ou ainda, os que analisaram a liberação de gases no processo.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para classificação, considerou-se necessário que o indicador tivesse ao menos uma das relações mencionadas para estar de acordo com o princípio.

3.2.2 Etapa II - Sustentabilidade

Quanto à sustentabilidade, considerou-se os ODS em que as práticas de EC contribuem diretamente para os objetivos, conforme classificado por Schroeder et al. (2018). Os ODSs possuem temas amplos e que podem ser interpretados de diferentes formas. Assim, os links feitos para avaliar os indicadores em relação à sustentabilidade estão presentes no Quadro 8.

Quadro 8 – ODS relacionado às práticas de EC

ODS	Metas diretamente afetadas pela EC	Indicadores que medem
ODS 6: Água potável e Saneamento	6.1 Alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos 6.2 Alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade 6.3 Melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente 6.4 Aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água	<ul style="list-style-type: none"> - Redução ou eficiência no uso da água - Quantidade de água recuperada no tratamento - Condições de higiene dos funcionários
ODS 7: Energia Limpa e Acessível	7.1 Assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia 7.2 Aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global 7.3 Dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética	<ul style="list-style-type: none"> - A eficiência ou custo do uso da energia - A energia renovável em relação ao combustível fóssil - Eficiência de equipamentos
ODS 8: Trabalho Decente e Crescimento Econômico	8.2 Atingir níveis mais elevados de produtividade das economias por meio da diversificação, modernização tecnológica e inovação, inclusive por meio de um foco em setores de alto valor agregado e dos setores intensivos em mão de obra 8.4 Melhorar progressivamente a eficiência dos recursos globais no consumo e na produção, e empenhar-se para dissociar o crescimento econômico da degradação ambiental, de acordo com o Plano Decenal de Programas sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com os países desenvolvidos assumindo a liderança	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiência na produção / produtividade - Inovação / incentivo à pesquisa e desenvolvimento - Eficiência das estratégias de EC - Criação de empregos - Manejo de produtos perigosos

Continua.

Quadro 8 – ODS relacionado às práticas de EC (continuação)

ODS 12: Consumo e produção Responsáveis	<p>12.2 Alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais</p> <p>12.4 Alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente</p> <p>12.5 Reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Otimização do uso de energia e recursos - Estratégias de circularidade - Minimização da geração de resíduos - Emissão de gases
ODS 15: Vida Terrestre	<p>15.1 Assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce interiores e seus serviços, em especial florestas, zonas úmidas, montanhas e terras áridas, em conformidade com as obrigações decorrentes dos acordos internacionais</p> <p>15.2 Promover a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, deter o desmatamento, restaurar florestas degradadas e aumentar substancialmente o florestamento e o reflorestamento globalmente</p> <p>15.3 Combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Otimização do uso da água - Redução do uso de matérias primas - Recursos provindos de desmatamento ou de áreas desmatadas

Fonte: adaptado de Dantas et al. (2020) e Schroeder et al. (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESCRIÇÃO DOS INDICADORES

4.1.1 Sustainability Performance Indicators (SPI)

Os autores Mesa e Maury, da *Universidad del Norte*, e Esparragoza, da *Penn State University*, propuseram em 2018 um conjunto de indicadores para medir a performance de sustentabilidade em produtos da mesma família. Isso porque, os indicadores convencionais de sustentabilidade não apresentam robustez sobre o desempenho geral de uma família por não explorar a relação entre componentes construtivos e módulos.

Uma família de produtos consiste em um conjunto de produtos semelhantes que são gerados a partir de um mesmo grupo de componentes ou que são construídos a partir de uma plataforma comum. Algumas particularidades estão associadas à análise de família de produtos: a modularidade, semelhança e variedade. A modularidade significa que é possível fazer mudanças em subconjuntos do produto sem precisar alterá-lo por completo, a semelhança permite o compartilhamento de componentes e do processo de manufatura, e a variedade implica no grau de funcionalidades que pode ser oferecido, e está relacionado à satisfação do cliente.

Os indicadores selecionados são orientados ao reuso dos produtos e de suas partes e à manter os produtos, componentes e materiais em uso pelo máximo de tempo possível. A estratégia utilizada é o reuso e a reciclagem. Os indicadores selecionados estão apresentados na Quadro 9.

Quadro 9 – Indicadores SPI

Dimensão	Nome do Critério
Performance de sustentabilidade	Índice de fluxo linear para famílias de produtos (LF12)
	Índice de Reutilização Potencial
	Índice de Reciclagem Potencial
Indicadores de desempenho de funcionalidade	Índice de Reconfiguração (RI)
	Índices Funcionais
	Índice de Alcance Funcional (FR)
	Índice de Variedade Funcional (FV)

Fonte: Adaptado de Mesa et al (2018).

Os indicadores citados são úteis quando utilizados para comparar diferentes cenários no *design* dos produtos. Para demonstrar a implementação do conjunto de indicadores, apresentou-se um estudo de caso baseado em uma família de dedos protéticos, no qual é possível identificar as mudanças possíveis mais favoráveis à sustentabilidade.

4.1.2 End of Life Best Practice Indicators (BPI)

Elaborado por Jiménez-Rivero e García-Navarro (2016), o indicador foi criado tendo em vista o FdV do gesso. Os autores fazem parte do Grupo de Pesquisa em Sustentabilidade na Construção e na Indústria, na Universidade Politécnica de Madrid.

O gesso é um material não-inerte e, por pertencer a construção civil, a desconstrução é necessária para a implementação da economia circular. Assim, a abordagem prioriza a reciclagem e é dividida em dois processos, a desconstrução e o processamento, sendo a desconstrução monitorada com base em 8 subprocessos, o processamento em 7. Cada subprocesso reúne um ou mais indicadores somando 23 ao total e sendo 17 indicadores chave associados à *best practice indicators* (BPI). Os aspectos que se visou monitorar foram os técnicos, ambientais, econômicos e sociais. Os subprocessos e seus indicadores podem ser observados na Quadro 10.

Quadro 10 – Indicadores BPI

Sub-processo	Critérios	BPI
Auditoria	DT1. Eficácia da auditoria	S
Desmontagem	DT2. Eficácia do processo de desconstrução	S
Rastreabilidade	DT3. Eficácia da rastreabilidade	S
Transporte	DE1. Resíduos de gesso enviado para aterro	S
	DE2. Comparação de emissões no transporte do resíduo de gesso	S
Desmontagem	DS1. Comparação do tempo de trabalho entre as técnicas	N
	DS2. Produtividade	N
	DS3. Formação da equipe de desconstrução	S
Transporte	DS4. Acompanhamento da gestão de resíduos	S
Auditoria	DEc1. Custo de auditoria	N

Continua.

Quadro 10 – Indicadores BPI (continuação)

Desmontagem	DEc2. Custo de desmontagem e carregamento de placas de gesso	N
	DEc3. Custo de desmontagem dos blocos de gesso e de carregamento	N
Rastreabilidade	DEc4. Comparação de custos entre rotas	S
Recepção	RT1. Critérios de aceitação de resíduos	S
	RT2. Resíduo de gesso rejeitado	S
Armazenamento	RT3. Espaço do armazém	S
Processamento	RT4. Output dos materiais no processo de reciclagem	S
	RE1. Processamento e transporte de emissões de GEE	S
	RE2. Gesso natural salvo	S
Recepção	RS1. Satisfação dos <i>stakeholders</i>	S
Processamento	REc1. Custo de energia no processamento de resíduos de gesso	N
Qualidade do Gesso Reciclado	MT1. Gesso reciclado rejeitado	S
	MT2. Critérios de qualidade gesso reciclado	S

*Desconstrução (D), reciclagem (R), fabricação (M), técnico (T), ambiental (E), social (S), econômico (Ec)

Fonte: Adaptado de Jiménez-Rivero e García-Navarro (2016).

Dentre os indicadores, existem análises qualitativas e quantitativas e o artigo descreve detalhadamente cada um dos métodos de medida e seus respectivos níveis desejados. É importante ressaltar que, segundo os autores, apesar de o método ter sido desenvolvido para o gesso, é possível ser aplicado para outros produtos.

Para testar seu funcionamento, foi feita a análise de cinco casos localizados na Europa, sendo que o gesso reciclado só foi gerado em três deles. Através dos estudos foi possível identificar os pontos de melhoria e ficou evidente a necessidade do *design* para a desconstrução.

4.1.3 Sustainable Circular Index (SCI)

O artigo foi publicado em 2017 por Azevedo e Godina, pertencentes à Universidade da Beira Interior, e por Matias, integrante da Universidade de Aveiro. A proposta foi construir um indicador de sustentabilidade circular versátil e simples, tendo em vista uma única empresa.

Os indicadores escolhidos abordam as dimensões econômica, social, ambiental e circular. Para a social foram definidos sete indicadores, para a econômica, três, e para a

ambiental e circular, quatro indicadores cada. Os dados são quantitativos, e os indicadores podem ser observados no Quadro 11.

Quadro 11 – Indicadores SCI

Dimensão	Crítérios
Ii1 = Social	I11 - número de acidentes por ano por empresa I21 - perda de produtividade pela empresa j I31 - porcentagem de mulheres contratadas empregadas pela empresa j I41 - porcentagem de trabalhadoras temporárias empregadas pela empresa j I51 - taxa de absenteísmo por empresa j I61 - rodízio de trabalhadores por empresa j I71 - porcentagem de pessoas com necessidades especiais empregadas pela empresa j
Ii2 = Econômico	I12 - valor econômico gerado direto e distribuído I22 - despesas de pesquisa e desenvolvimento I32 - número de pessoas empregadas
Ii3 = Ambiental	I13 - taxa de resíduos não perigosos I23 - taxa de resíduos perigosos I33 - quantidade de água consumida por ano em processos industriais I43 - quantidade de energia usada por ano
Ii4 = Circularidade	I14 - entrada no processo de produção I24 - utilidade durante a fase de uso I34 - eficiência da reciclagem

Fonte: Adaptado de Azevedo et al (2017).

Vale ressaltar que apesar de separar as estratégias de circularidade em uma dimensão diferente do tripé, o autor entende que a economia circular pode auxiliar na criação de empregos e controlar os impactos sobre o meio ambiente, se tornando assim, “uma alternativa atraente e viável para o desenvolvimento sustentável”.

Depois da escolha dos indicadores é feita a ponderação, através da técnica *Delphi*, seguida pela normalização e agregação. Por fim, obtém-se um resultado que varia de 0 a 1, sendo que 0 significa que a companhia não é nem sustentável nem circular e 1, que atende aos princípios da sustentabilidade e circularidade.

Observa-se a que não houve a apresentação de um estudo de caso, dificultando o entendimento da aplicação prática do Index e que seria interessante realizar uma análise de sensibilidade.

4.1.4 Expended Zero Waste Practice Model (ZWP)

O artigo foi publicado em 2017 por Veleva e Bodkin, da *University of Massachusetts Boston* e por Todorova, da *Northeastern University*. Os autores analisaram as estratégias e os indicadores para a redução de resíduos de oito indústrias farmacêuticas ou biomédicas, e propuseram um novo modelo.

O novo modelo busca medir os impactos de cada estratégia de redução de resíduos sobre o meio ambiente e segue a hierarquia: redução, reuso, reciclagem ou compostagem, recuperação e descarte. Além disso, os autores entendem que o engajamento dos funcionários é fundamental para o *zero waste*, e dividiu essa questão chave em quatro processos: conscientização, educação, empoderamento e recompensa/reconhecimento. Por isso, fatores como a quantidade de empregados cientes da política da empresa, e reconhecimento por ações de redução, estão entre os indicadores do ZWP. A lista completa dos indicadores pode ser observada na Quadro 12.

Quadro 12 – Indicadores ZWP

Dimensão	Nome do Critério	
Estratégias de circularidade	Redução	Intensidade de geração de resíduos
		% de redução em materiais-chave (por exemplo, água, produtos químicos, energia, etc.) em relação às vendas
		% de materiais do estoque renovável
		Toneladas e % (em peso) de materiais e produtos de origem sustentável usando Padrões Ambientais de Compras
		% de fornecedores selecionados usando critérios de sustentabilidade
		% de energia renovável usada na fabricação e operações
	Reuso	Toneladas de resíduos convertidos em reuso
		% de resíduos não perigosos reutilizados
		% de produtos ou equipamentos reutilizados (por exemplo, por meio de doações, remanufatura, revenda)
		Valor justo de mercado de equipamentos/materiais reutilizados
	Reciclado ou compostado	% e toneladas de resíduos reciclados
		% e toneladas de resíduos compostados
	Recuperado	% e toneladas de resíduos não perigosos convertidos em energia
	Descartado	% e toneladas de resíduos incinerados
		% e toneladas de resíduos enviados para aterro

Continua.

Quadro 12 – Indicadores ZWP (continuação)

Sustentabilidade	Emissões de GEE evitadas (ou geradas, por exemplo, por incineração)
	Energia economizada
	Água economizada
	Empregos gerados (diretos e indiretos)
	Outros impactos sociais (por exemplo, cientistas apoiados, estudantes beneficiados, ONGs atendidas)
	Economia de dólares
	% e número de clientes captados como resultado da estratégia (aumento de <i>market share</i> , receitas)
	Valor justo de mercado (FMV) dos equipamentos ou resíduos reaproveitados
	Papel do treinamento de desperdício zero para funcionários (\$ investido/economia total das soluções identificadas)
	Melhora da resiliência ou competitividade da empresa (por exemplo, preparação para novas regulamentações, dependência reduzida de importações, preços flutuantes de <i>commodities</i> , acesso a recursos)
	Retorno sobre o investimento (ROI) de longo prazo sobre equipamentos/sistemas atualizados.
Engajamento dos funcionários	% de funcionários cientes das metas de redução de resíduos da empresa
	% de funcionários que participaram de treinamentos sobre desperdício zero/economia circular
	% de funcionários relatando contribuição "significativa" ou "muito significativa" para as metas de redução de resíduos
	% e # de funcionários reconhecidos por suas ideias inovadoras de prevenção/redução de resíduos
	% de aumento no envolvimento dos funcionários e satisfação no trabalho como resultado do envolvimento em práticas de desperdício zero

Fonte: Adaptado de Veleva (2017).

Apesar de ser estruturado em indústrias farmacêuticas, o modelo pode ser aplicado em qualquer companhia, se adicionados os indicadores específicos para o setor da empresa.

Vale observar que a aplicação do método pode enfrentar algumas barreiras. Alguns possíveis problemas são que, a medição dos impactos pode ser mais complexa, pode não haver dados sobre alguns critérios e a medição relacionada ao engajamento dos funcionários precisa da participação de um departamento de recursos humanos (RH). No entanto, não foi realizado um estudo de caso para verificar as limitações e testar a viabilidade dos indicadores.

4.1.5 Set of Indicators to Assess Sustainability (SIAS)

O conjunto de indicadores foi criado em 2014 por Golinska, Kosacka, Mierzwiak, Werner-Lewandowska, ligados à faculdade de engenharia e administração da *Poznan University of Technology*. No estudo os autores definem indicadores para analisar o processo de remanufatura e a sua performance operacional, econômica, ecológica e social. O artigo se baseia no projeto *Sustainability in remanufacturing operations (SIRO)* que é limitado ao processo de remanufatura em partes automotivas.

As empresas de remanufatura são, em geral, de pequeno e médio porte e possuem recursos financeiros e mão de obra limitados. Além disso, é comum que os dados do processo de remanufatura sejam incertos ou incompletos e, por isso, o método utilizado para a tomada de decisão é o *Grey Decision Making (GDM)*. A vantagem do método é que não requer uma extensa base de dados e possui a complexidade moderada nos cálculos numéricos, seguindo apenas transformações matemáticas lineares.

Com base na literatura e em especialistas, foram selecionados indicadores qualitativos e quantitativos apresentados na Quadro 13.

Quadro 13 – Indicadores SIAS

Dimensão	Nome do Critério	Unidade
Performance Econômica	Eficácia geral do equipamento (OEE)	%
	Fluxo do processo de remanufatura (RPF)	1-5
	Adequação do planejamento	%
	Disponibilidade de máquinas e ferramentas (AMT)	1-5
	Nível de serviço	%
	Disponibilidade de materiais: total fora de estoque (OOS)	1-5
Performance Ambiental	Nível de consumo de energia	1-5
	Nível de geração de resíduos	%
	Taxa de recuperação de materiais (MRR)	%
	Nível de emissões geradas	%
Performance Social	Emprego	%
	Treinamento de equipe	%
	Nocividade do processo de remanufatura	1-5
	Nível médio de conforto no trabalho	%
	Nível de inovação	%

Fonte: Adaptado Golinska et al. (2014).

Ao final do método, espera-se ser capaz de identificar as ações prioritárias e de classificar a companhia dentro de níveis de sustentabilidade: nível aceitável, sem necessidade de melhorias imediatas; nível aceitável, mas com ressalvas, o qual precisa de melhorias assim que for possível economicamente e administrativamente; nível inaceitável, com necessidade de melhorias imediatas. O artigo apresenta um estudo de caso para exemplificar a utilização da ferramenta.

4.1.6 Circular Business Model Set of Indicators based on Sustainability (CBM-IS)

O artigo foi elaborado em 2020 por Rossi, Bertassini, Ferreira, Neves do Amaral, e Ometto, todos ligados à Universidade de São Paulo. O conjunto de indicadores construído é para os níveis nano e micro e a proposta foi desenvolver uma ferramenta multidimensional, que analisa todo o ciclo de vida, relacionando os princípios da EC, o modelo de negócios circular e os pilares da sustentabilidade.

Os tipos de *Circular Business Model* (CBM) e os princípios da EC adotados pelos autores pertencem a 8001:2017 *British Standards Institution* (BSI) e, assim, os 18 indicadores propostos foram estruturados com base na BSI e em *feedbacks* das aplicações. Os princípios da EC consistem em: pensamento sistêmico, inovação, gestão, colaboração, otimização de valor e transparência. Na Quadro 14 estão apresentados cada um dos indicadores.

Quadro 14 – Indicadores CBM-IS

Dimensão	Crítérios	Subcritérios	Medida
Material	Redução de matéria-prima	Manufatura	Quantidade de matéria-prima reduzida na fabricação
		Produto	Quantidade de matéria-prima reduzida no produto
	Renovabilidade	Energias renováveis	% de energia renovável em relação ao total de energia usada no processo de manufatura
		Matéria-prima renovável	% de matéria-prima renovável em relação ao total usado na produção
	Reciclabilidade	Materiais reciclados	% de material reciclado da composição do produto
		Potencial de reciclagem	% do produto que pode ser reciclado depois do uso
	Redução de substância tóxicas		Quantidade de redução de substâncias tóxicas

Continua.

Quadro 14 – Indicadores CBM-IS (continuação)

	Reuso	Processo de Manufatura	Quantidade de material da cadeia de suprimento que foi reusado
		Produto	Quantidade de material reusado no produto
	Remanufatura		Quantidade de produtos remanufaturados
	Reforma		Quantidade de partes recuperadas do produto sem passar por todos os estágios da remanufatura
	Longevidade do produto		Quantidade de tempo adicionado à vida útil do produto
	Estrutura e diversidade dos Stakeholders	Estrutura	Qualitativa
		Stakeholder	Qualitativa
Econômico	Resultados financeiros	Redução de custo	Valor monetário do modelo de negócios circular proporcionado pela redução de custos de matérias-primas, energia, etc.
		Geração de receita	Este indicador pode ser medido por: a) Vantagem competitiva: porcentagem de mercado participação do modelo de negócios circular em comparação com os concorrentes. b) Riscos: mapear os riscos associados aos modelos de negócios circulares. c) Novas receitas: novas receitas da circular modelos de negócios
		Lucratividade	Lucro líquido do <i>Return on Assets</i> (ROA) e <i>Return on Equity</i> (ROE)
	Tributação ou marcos regulatórios		
	Investimento circular	Inovação	Quantificar os investimentos da inovação processo
	Social	Criação de emprego	
Renda gerada por empregos		Valor monetário da renda gerada pela geração de empregos a partir do modelo de negócios circular	
Participação dos funcionários no modelo circular		Percentual de empregos na empresa relacionados à economia circular	
Mentalidade do cliente		Cliente	Qualitativa
		Valor	Qualitativa
		Comunicação	Qualitativa
Envolvimento dos stakeholders nos processos decisórios		Qualitativo	
Mentalidade/mudança cultural		Qualitativo	

Fonte: Adaptado de Rossi et al. (2020).

Os indicadores foram testados em 3 empresas Brasileiras e de setores diferentes, uma de eletroeletrônicos, uma do setor têxtil e a outra é uma indústria e comerciante de plásticos, demonstrando a versatilidade para ser utilizado em situações diversas.

4.1.7 Multi-Criteria Evaluation Method of Product-Level Circularity Strategies (MCEM-PLCS)

O artigo foi escrito por Alamerew e Brissaud, da *Université Grenoble Alpes*, e por Kambanou e Sakao, da *Linköping University*. Os autores buscaram criar um método de decisão para avaliar o potencial de circularidade de produtos e auxiliar as empresas a escolherem a melhor estratégia de FdV. O diferencial do MCEM-PLCS é a proposta de ser um indicador que permita flexibilidade aos tomadores de decisão.

O método utilizado para a construção é o *simple multi-attribute rating technique (SMART)* e o processo a ser seguido consiste em, primeiramente, caracterizar o produto identificando características que influenciam na seleção das estratégias de circularidade (ex. tipos de materiais e componentes). Em seguida, o modelo de negócio atual da companhia deve ser identificado (ex. estratégia tradicional de negócio) para, a partir disso, definir uma lista com potenciais estratégias de circularidade. As estratégias sugeridas pelo autor foram: reuso, reforma, condicionamento, remanufatura, reaproveitamento, canibalização e reciclagem.

O terceiro passo é a identificação dos critérios e subcritérios, conforme a recomendação dada na Quadro 15. Escolhidos os subcritérios, é feita uma avaliação da importância de cada com base no tipo da indústria e da percepção do *decision-maker*, e depois, uma normalização para a comparação.

Ambiental	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), <i>EOL impact indicator</i> (EOLI), <i>Human health</i> (MH), <i>Ecosystem quality</i> (EQ), <i>Resources</i> (R)
Econômico	Custo de desmontagem, valor recuperável líquido, custo de logística, custo de tratamento no FdV
Social	Oportunidade de criação de emprego, exposição dos funcionários a materiais perigosos, nível de satisfação do cliente
Legislativo	Efeito da pressão legislativa, cumprimento da legislação nova e existente
Técnico	Estado técnico, disponibilidade de instalações de recuperação, separabilidade de materiais, avanço na tecnologia, presença/removibilidade de conteúdo perigoso
Negócios	Demanda do mercado, pressão competitiva, volume de retorno

Fonte: adaptado de Alamerew (2020).

Por fim, foram apresentados dois estudos de caso, um sobre a coleta a vácuo de resíduo e outro de uma companhia de armazenamento de móveis, permitindo entender como funciona o método na prática. Apesar de trazer liberdade aos tomadores de decisão, a EC é complexa e sem ter o conhecimento apropriado pode haver falta de links entre os critérios, além de que, alguns destes podem ser avaliados duplamente, tendo um peso maior que o desejado, ou até deixar de considerar um aspecto importante para a análise.

4.1.8 Product Recovery Multi-Criteria Decision Tool (PR-MCDT)

O PR-MCDT foi desenvolvido por Alamerew e Brissaud, da *Université Grenoble Alpes*, que também participaram do desenvolvimento do MCEM-PLCS e, assim como este, é um indicador multicritério. O objetivo dele é auxiliar na tomada de decisão para o FdV de produtos, através de uma abordagem holística e utilizando aspectos técnicos, econômicos, ambientais, empresariais e sociais.

O processo para a utilização do método consiste em listar de potenciais estratégias de recuperação no FdV, tendo sido definidas como principais pelos autores as estratégias de: reforma, condicionamento, remanufatura, reaproveitamento, canibalização e reciclagem. A partir disso os indicadores relevantes são selecionados, definindo o objetivo (maximizar ou minimizar), o tipo de medida (qualitativo ou quantitativo) e a unidade, conforme a Quadro 16.

Quadro 16 – Indicadores PR-MCDT

Dimensão	Critérios	Unidade	Objetivo
Ambiental (I1)	<i>EOL impact indicator</i> (EOLI) CO ₂ SO ₂ emissão Consumo de energia	Eco-indicator points (Pt) Kg Kg KWh	Minimizar Minimizar Minimizar Minimizar
Econômico (I2)	Valor líquido recuperável Custo logístico (custo coleta e transporte) Custo de desmontagem Custo do produto (o que é pago por: incineração, reciclagem, aterro, etc.)	Euro Euro Euro Euro	Maximizar Minimizar Minimizar Minimizar
Social (I3)	Número de funcionários para realizar o cenário Exposição a materiais perigosos (exposição de funcionários a materiais perigosos em todas as operações)	Número inteiro Escala Qualitativa: 5-Muito importante, 4-importante, 3-médio, 2-pouco, 1-muito pouco	Maximizar Minimizar

Fonte: Adaptado de Alamerew (2019).

Em seguida, é feito o cálculo e avaliação das estratégias do FdV, excluído as que obtiverem pior performance em algum indicador. A estratégia mais apropriada é escolhida e deve ser feita uma avaliação final para entender as consequências de selecioná-la. A forma de calcular o indicador de valor recuperável líquido, o indicador do impacto do FdV, de exposição a materiais perigosos e do número de funcionários para realizar o cenário estão presentes no artigo.

A aplicação do método foi exemplificada em um estudo de caso sobre um motor automotivo, no qual o método auxiliou na escolha da melhor estratégia, devendo-se entender mais a fundo questões como as demandas do mercado e conformidade com a legislação. Observa-se que o método leva em consideração as preferências do *decision-maker* e que os pontos-chave a serem considerados nas decisões foram listados.

4.2 ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS INDICADORES

Durante a descrição, observou-se as especificidades e se percebeu que alguns indicadores não são compreendidos com facilidade, não deixam claro o que medem ou como realizar as medições. Assim, não trazem de forma detalhada os procedimentos de cálculo ou

exemplos, o que pode dificultar o seu entendimento e aplicação. A dificuldade é maior no MCEM-PLCS por trazer a ACV, o *EOL impact indicator*, entre outros, sem dar detalhes do seu funcionamento ou critérios a serem considerados por esses métodos.

A comparação dos indicadores está apresentada no Quadro 17. A fonte dos artigos não foi apresentada na tabela, pois todos são de origem acadêmica.

Quadro 17 – Tabela comparativa dos indicadores

Indicador	Tipo	Nível	Ciclo	Estratégia de EC	Estratégia empresarial	Serviço?	Metodologia
SPI	1	Nano	Técnico	Reuso e Reciclagem			Adaptação do <i>Linear Flow Index</i>
BPI	1	Nano	Técnico	Reciclagem			Entrevistas com especialistas, <i>Weighting</i> e Normalização
SCI	1	Micro	Técnico	Reparar, Reciclagem			<i>Simple Additive Weighting</i> (SAW), <i>Delphi</i> e MCI (Baseado no LCA)
ZWP	2	Micro	Técnico/ Biológico	Redução, reuso, reciclagem/compostagem, Recuperação e Descarte	X		Análise de oito companhias do setor farmacêutico
SIAS	2	Micro	Técnico	Remanufatura			<i>Grey Decision Making</i> (GDM)
CBM-IS	2	Nano e Micro	Técnico	Redução, Reuso, Renovabilidade, Remanufatura, Reforma, Reciclagem	X	X	Teste empírico e Revisão da literatura, com base no BSI.
MCEM-PLCS	3	Nano	Técnico	Reuso, Reforma, recondicionamento, remanufatura, reaproveitamento, canibalização e reciclagem	X	X	<i>Simple Multi-attribute Rating Technique</i> (SMART)
PR-MCDT	2	Nano	Técnico	Reforma, recondicionamento, remanufatura, reaproveitamento, canibalização, reparar e reciclagem	X		Métodos de otimização, Decisão multicritério (MCDM) e método empírico

Fonte: Elaboração própria (2022).

Os oito indicadores foram descritos, comparados e, a partir disso, é possível fazer algumas observações. Quanto a classificação de nível, quatro dos indicadores (50%) pertencem ao nível micro, devendo ser utilizado para empresas, três (37,5%) ao nível nano, para produtos, e o CBM-IS é o único (12,5%) que pode ser utilizado para ambos os níveis.

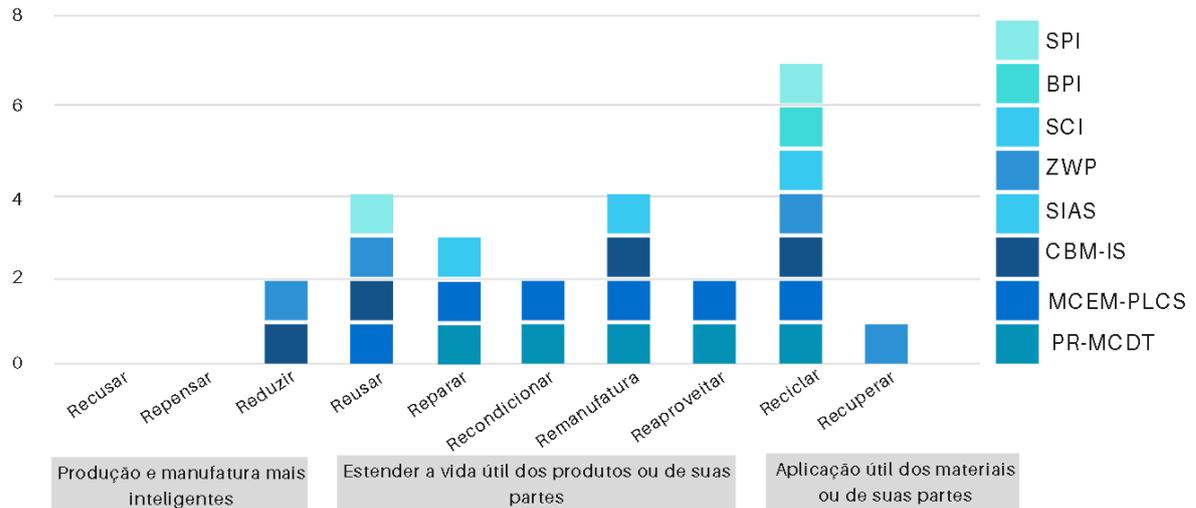
Em relação ao tipo dos indicadores, 37,5% são indicadores únicos, 50% são ferramentas analíticas e 12,5% indicadores compostos, que corresponde ao MCEM-PLCS. Mais da metade dos indicadores não utilizam somente dados quantitativos, o que os torna mais complexos de serem aplicados e aumenta a chance de demandarem por pessoas qualificadas.

O MCEM-PLCS é o único conjunto de indicador composto por sugerir a ACV. No artigo que o apresenta, percebe-se que ao utilizar as ferramentas já existentes, não se aprofunda no que de fato estará sendo medido, além de que, esse método é complexo, necessita de dados detalhados da produção, recursos e profissionais capacitados (JÚNIOR et al., 2008).

Na classificação por ciclos, o ciclo técnico se destacou por estar presente em todos os indicadores, sendo que apenas o ZWP pode ser utilizado também para o ciclo biológico. Ainda assim, dentre as alternativas de circularidade para o FdV do ciclo biológico deste indicador, consta apenas a compostagem, não incluindo possibilidades como a digestão anaeróbia e incineração. O PRMCDT, apesar de analisar o custo que pode ser pago com incineração e aterro no “custo do produto”, não apresenta esta opção dentre as estratégias de circularidade.

As estratégias de circularidade utilizadas pelos indicadores divergem entre si e, para fins de comparação, relacionou-as às estratégias propostas por Potting et al. (2017). Assim, a Figura 6 apresenta o gráfico com as estratégias abordadas pelos indicadores.

Figura 6 – Relação dos indicadores com os 9Rs



Fonte: Elaboração própria (2022).

Observa-se que, somente o CBM-IS e o ZWP trabalham com a produção e manufatura mais inteligentes, enquanto há uma priorização por estender a vida e realizar a aplicação útil dos materiais, em especial através da reciclagem. Esta estratégia está presente em sete dos oito indicadores, ficando evidente sua priorização. A reciclagem é a única estratégia utilizada pelo BPI, utilizado para medir a circularidade do gesso, e sua utilização foi justificada pelo tipo do produto. No entanto, para ser utilizado para demais produtos seria importante a medição de outras estratégias.

É interessante observar que recusar e repensar podem exigir uma mudança maior do produto ou empresa. Como previsto por Potting et al. (2017), recusar envolve “tornar o produto redundante, abandonando sua função ou oferecendo a mesma função com produto radicalmente diferente”, e repensar envolveria intensificar o uso do produto através de um compartilhamento ou “colocando produtos multifuncionais no mercado”. Vale ressaltar que todos os indicadores são de origem acadêmica e, mesmo assim, priorizaram estratégias de menor circularidade.

Em relação à estratégia empresarial, ela é considerada por 50% dos indicadores. O artigo do SCI comenta que considera *business practices*, porém, não mede questões de mercado e econômicas e, por isso, não foi considerado. O ZWP é o único desenvolvido com base em um sistema já aplicado, e considera aspectos como economia de dinheiro, valor justo de mercado, resiliência e competitividade da empresa. Além disso, o CBM-IS, MCEM-PLCS e PR-MCDT,

também consideram aspectos como vantagem competitiva, lucratividade ou modelo de consumo. Mesmo que por serem indicadores relacionados à sustentabilidade já se espere que sejam medidas questões econômicas de alguma forma, não considerar a estratégia empresarial significa um risco maior de os indicadores não serem viáveis na prática pois é necessário considerar questões de mercado.

Em relação à serviços, 25% dos indicadores afirmam a possibilidade de serem usados para esse fim. São eles o CBI-IS, com a proposta gerir de forma sustentável os recursos através do *design* de processos, produtos/serviços e *business models*, e o MCEM-OLCS, que propõe um método de tomada de decisão para avaliar estratégias de circularidade de produtos e serviços agregados. A falta de enfoque nos serviços pode ser ter relação com os níveis escolhidos, no entanto, este setor também consome recursos naturais limitados e pode se beneficiar da EC.

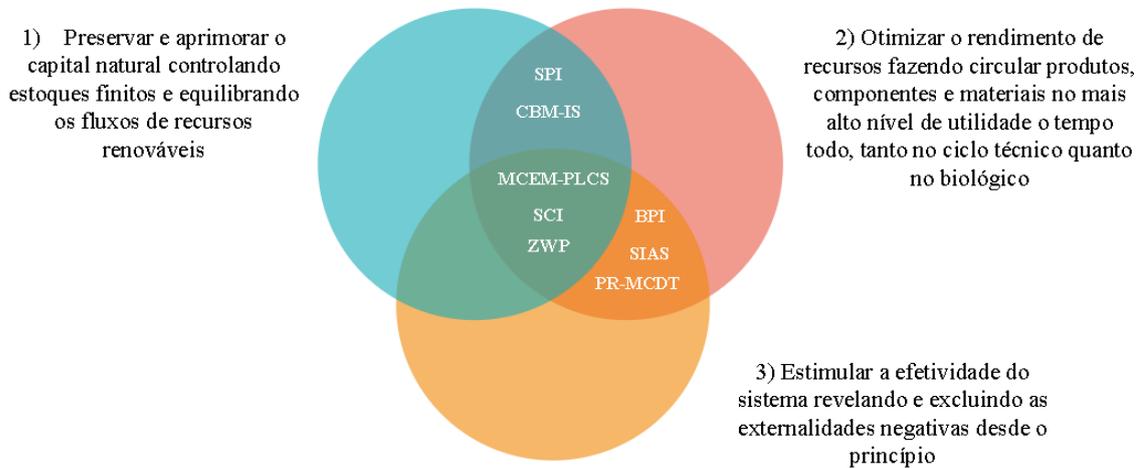
Quanto a metodologia, é relevante notar a diversidade de métodos utilizados e que existe dois métodos multicritérios, o MCEM-OLCS e o PR-MCDT. Também se destaca o *Grey Decision Making* do SIAS, por não precisar de uma extensa base de dados, o que pode ser um diferencial para facilitar a utilização do indicador e consequentemente, a transição para a EC.

4.3 ANÁLISE QUANTO AOS PRINCÍPIOS DA EC E AOS ODS

4.3.1 Princípios da EC

Os resultados obtidos foram sintetizados no diagrama de Venn (Figura 7), no qual se observa a relação entre os indicadores e os três princípios da EC.

Figura 7 – Diagrama de Venn



Fonte: Elaboração própria (2022).

Percebe-se que 62,5% dos indicadores atendem ao primeiro princípio da EC, 100% estão de acordo com o segundo princípio da EC e 75% com terceiro. Todos os indicadores trabalham com o 2º Princípio da EC por possuírem estratégias que fazem circular os produtos, componentes ou materiais. Isso pode estar relacionado ao fato de que os níveis selecionados são voltados para produtos e empresas, e devem ter esse enfoque.

Somente 37,5% dos indicadores analisam de alguma forma os três princípios da EC, são eles o: SCI, o ZWP e o MCEM-PLCS. O SCI mede a entrada de material virgem, a durabilidade dos produtos e a eficiência de reciclagem, porém, vale ressaltar que a eficiência é pouco abrangente, limitando-se a eficiência na estratégia de reciclagem.

O ZWP, objetiva o lixo zero e por isso, analisa as externalidades como a geração de resíduos e as emissões de GEE, estando de acordo com o terceiro princípio. Além disso, também inclui o primeiro princípio por medir a redução de materiais e os materiais com estoque renovável.

O MCEM-PLCS considera diferentes indicadores, sendo um deles a ACV. De acordo com a NBR ISO 14040/2001, “é conveniente que estudos da ACV abordem sistemática e adequadamente os aspectos ambientais de sistemas de produto, desde aquisição de matéria-prima até a disposição final” e que a “delimitação do escopo deve incluir os tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto”. Por esses motivos, considerou que o MCEM-PLCS

atende aos três pilares da EC, mas é importante ressaltar que “não existe um único método para conduzir estudos da ACV”. Ademais, devido à liberdade de escolha que é dada ao tomador de decisão neste indicador, não há garantia de que todos os princípios estarão sempre incluídos.

Os três indicadores que atendem ao segundo e terceiro princípios são o BPI, SIAS, PR-MCDT. O BPI, atende ao terceiro princípio por analisar o resíduo de gesso rejeitado, o que foi enviado para aterro e ainda, concluir que é possível minimizar o resíduo não reciclável através do design para a desconstrução. O SIAS analisa as externalidades através do nível de consumo de energia, de geração de resíduos, emissões de gases e recuperação dos materiais. O PR-MCDT mede as emissões de gases como o CO₂ e SO₂, e analisa os impactos do fim de vida.

Por fim, os dois indicadores que atendem ao primeiro e segundo princípios são o SPI e o CBM-IS. O SPI atende ao primeiro princípio por considerar o design do produto, analisando o tipo de material, quantidade usada e a sua geometria, visando preservar o material virgem, e o CBM-IS, analisa a quantidade de matéria-prima reduzida no produto e a quantidade de matéria quantidade de matéria renovável utilizada, além de medir a energia renovável utilizada.

É importante observar que mesmo os indicadores que contemplam todos princípios de alguma forma, podem ampliar a sua capacidade de medição. O SCI, por exemplo, não considera as emissões de GEE, que é considerado pelo ZWP, ou seja, mesmo atendendo à um princípio, os indicadores não consideram todas as suas possibilidades de análise para este.

4.3.2 Sustentabilidade

Na Tabela 1 está apresentada a relação dos indicadores com os ODSs.

Tabela 1 – Concordância dos indicadores com os ODS

	SPI	BPI	SCI	ZWP	SIAS	CBM-IS	MCEM-PLCS	PR-MCDT
ODS 6			X	X				
ODS 7		X	X	X	X	X	X	X
ODS 8		X	X	X		X	X	X
ODS 12	X	X	X	X	X	X	X	X
ODS 15	X		X	X		X	X	

Fonte: Elaboração própria (2022).

A partir da tabela é possível observar que 100% dos indicadores atendem ao ODS 12, uma vez que todos possuem pelo menos alguma estratégia para reduzir a geração de resíduos. O ODS 7, contemplado por 87,5% dos indicadores, se refere a “Energia Limpa e Acessível”, e a energia foi abordada pelos indicadores quanto ao seu custo, eficácia de equipamentos quantidade usada ou economizada, de energia renovável ou não.

O ODS 8, sobre “Trabalho Decente e Crescimento Econômico” foi identificado em 62,5% dos indicadores. O SPI, SIAS e PR-MCDT não abordaram esta ODS pois não medem questões como inovação, eficiência, e criação de empregos. Apesar de o SIAS abordar questões como emprego, nocividade do processo de remanufatura, não foi possível relacionar esses pontos com as metas selecionadas deste ODS.

Já o ODS 15 sobre a “Vida na Terra”, considerou os indicadores que medem redução de uso de matérias primas, otimização do uso da água e recursos provindos de áreas desmatadas, sendo abordado por 62,5% deles. O BPI, SIAS e PR-MCDT, não tiveram um enfoque na redução do uso de matérias primas, incluindo água.

O ODS observado em menor quantidade foi o 6, sobre a Água potável e Saneamento, sendo medida por somente 25% dos indicadores, o SCI e o ZWP. Vale destacar que além de serem os únicos a atenderem a este ODS, também foram os únicos a atenderem a todos os ODSs. O MCEM-PLCS não foi considerado por não medir diretamente esse critério, apesar de que a ACV pode incluir a análise da água.

Com relação à água, o SCI avaliou a quantidade de consumida por ano em processos industriais e o ZWP a quantidade de água economizada ou porcentagem reduzida. Nenhum dos indicadores abordou o tratamento dos efluentes, de forma a ter o ciclo fechado para a água, reaproveitando o recurso. Além disso, a questão sobre as condições de higiene e saneamento no ambiente de trabalho não foi abordada por nenhum dos indicadores.

A água é um recurso finito, consumido majoritariamente pela agropecuária e indústria, e que pode ser economizada, reutilizada ou tratada pelo consumidor. Para o tratamento da água existem diversas possibilidades e tecnologias, mas são pouco aplicadas. Além disso, o saneamento impede que os resíduos sejam descartados em fontes de água, contaminando-as (MALAR, 2021). Por isso, é imprescindível que a água seja incluída nos indicadores de economia circular, de forma a garantir a preservação e recuperação do capital natural.

No geral, as práticas de circularidade atenderam aos cinco ODSs considerados, sendo que o SPI foi o que menos mediu os ODSs. Isso é coerente com o fato de que, como performance de sustentabilidade, o indicador mediu apenas o índice de fluxo linear para famílias de produtos, o índice de Reutilização Potencial e de Reciclagem Potencial.

Ademais, o SCI e o ZWP, que atendem a todos os ODS, também atendem aos três princípios. Isso reforça a existência de relação entre os princípios da EC e os ODS, uma vez que ambos buscam a preservação de recursos naturais, água e energia para que a geração atual ou as futuras não sejam comprometidas. Além disso, é possível concluir que ambos os indicadores são os que mais cumprem com o que é proposto. Ainda assim, o SCI só apresenta duas estratégias de circularidade, enquanto que o ZWP apresenta cinco e a estratégia empresarial, demonstrando maior potencial de utilização e viabilidade de aplicação.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa buscou melhorar a escolha dos indicadores de EC relacionados à sustentabilidade e garantir que estivessem de acordo com o que propunham. No desenvolvimento do trabalho foi feita a análise e comparação dos indicadores e relacionou-os aos princípios da EC e aos ODS.

Na análise dos indicadores se observou que o nível de complexidade deles varia, nem todos são entendíveis com facilidade, deixam claro o que medem ou como realizar as medições. Comparando os ciclos, notou-se que o ciclo biológico é pouco explorado e, mesmo quando presente, há pouco enfoque para suas estratégias, sendo interessante o desenvolvimento de mais indicadores com esse viés.

Todos os indicadores apresentam estratégias de circularidade tendo, portanto, o ODS 12 e o segundo princípio já consolidados entre eles. No entanto, houve um maior enfoque para o fim de vida, em especial para a reciclagem, sendo que esta é uma das estratégias menos preferíveis. Além disso, alguns apresentam apenas uma ou duas estratégias, tendo sido observado que a EC ampla e deveria prever as melhores alternativas para a circularidade de produtos e empresas.

Observou-se a necessidade dos indicadores considerarem a estratégia empresarial para a viabilidade de transição e de incluírem o setor de serviços, ambos os tópicos pouco explorados. Também se notou que menos da metade aborda todos os princípios da EC e apenas dois medem o ODS 6 (água) diretamente.

A EC precisa ir além da reciclagem e das práticas de circularidade e deve incluir pontos fundamentais como a energia e o ciclo da água. É importante que os indicadores analisem e considerem todas as possibilidades para melhor escolha das estratégias e uma transição mais adequada, sem permitir que os indicadores sejam limitantes para as possibilidades da EC.

Não podemos deixar de observar que a pesquisa possui algumas limitações, uma vez que tanto os princípios da EC quanto os ODSs se sobrepõem nas suas definições. Além disso, nas análises em relação à EC e ODS, considerou-se o indicador que contemplava pelo menos um aspecto nas categorias propostas, e por isso, sugere-se verificar a intensidade do vínculo entre os indicadores e todos princípios e os ODSs em futuros estudos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: Abrelpe, 2018. 68 p.

ALAMEREW, Yohannes A.; BRISSAUD, Daniel. Circular economy assessment tool for end of life product recovery strategies. **Journal Of Remanufacturing**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 169-185, 31 out. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13243-018-0064-8>

ALAMEREW, Yohannes A.; KAMBANOU, Marianna Lena; SAKAO, Tomohiko; BRISSAUD, Daniel. A Multi-Criteria Evaluation Method of Product-Level Circularity Strategies. **Sustainability**, [S.L.], v. 12, n. 12, p. 5129, 23 jun. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12125129>.

ALMEIDA, Cristiana Gonçalves de. **Economia Circular com perspectivas à criação de uma ferramenta de monitorização aplicada à realidade nacional portuguesa**. 2020. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia e Gestão do Ambiente, Faculdade de Economia, Universidade do Porto, Porto, 2020. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/129852>. Acesso em: 10 mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.

AZEVEDO, Susana; GODINA, Radu; MATIAS, João. Proposal of a Sustainable Circular Index for Manufacturing Companies. **Resources**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 63, 10 nov. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/resources6040063>.

DANTAS, T.e.T.; DE-SOUZA, E.D.; DESTRO, I.R.; HAMMES, G.; RODRIGUEZ, C.M.T.; SOARES, S.R.. How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. **Sustainable Production And Consumption**, [S.L.], v. 26, p. 213-227, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005>.

DE OLIVEIRA, Carla Tognato. **Avaliação dos facilitadores e barreiras da economia circular na cadeia reversa do poliestireno expandido no Brasil**. 2018. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

DE OLIVEIRA, Carla Tognato; DANTAS, Thales Eduardo Tavares; SOARES, Sebastião Roberto. Nano and micro level circular economy indicators: assisting decision-makers in circularity assessments. **Sustainable Production and Consumption**, [S.L.], v. 26, p. 455-468, abr. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.024>. Acesso em: 15 mar. 2022.

ELKINGTON, John. **25 Years Ago I Coined the Phrase “Triple Bottom Line.”: Here’s Why It’s Time to Rethink It**. 2018. Disponível em: <https://hbr.org/2018/06/25-years-ago-i-coined-the-phrase-triple-bottom-line-heres-why-im-giving-up-on-it>. Acesso em: 5 abr. 2022.

ESPOSITO, Mark; TSE, Terence; SOUFANI, Khaled. Is the Circular Economy a New Fast-Expanding Market? **Thunderbird International Business Review**, [S.L.], v. 59, n. 1, p. 9-14, 14 out. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/tie.21764>.

FOUNDATION, Ellen Macarthur; COMPANY, McKinsey &; HEKKERT, Marko; HANEMAAIJER, Aldert. **Towards the circular economy: economic and business rationale for an accelerated transition**. [S. L.]: [S. L.], 2013. 99 p. Disponível em: <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/358310>. Acesso em: 02 abr. 2022.

FRANCO, Nathália Geronazzo. **A strategic measurement framework to monitor and evaluate circularity performance in organizations from a transition perspective**. 2021. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Metrologia, Centro Técnico Científico, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

GEISSDOERFER, Martin; SAVAGET, Paulo; BOCKEN, Nancy M.P.; HULTINK, Erik Jan. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 143, p. 757-768, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.

GOLINSKA, Paulina; KOSACKA, Monika; MIERZWIAK, Rafal; WERNER-LEWANDOWSKA, Karolina. Grey Decision Making as a tool for the classification of the sustainability level of remanufacturing companies. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 105, p. 28-40, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.040>.

JIMÉNEZ-RIVERO, Ana; GARCÍA-NAVARRO, Justo. Indicators to Measure the Management Performance of End-of-Life Gypsum: from deconstruction to production of recycled gypsum. **Waste And Biomass Valorization**, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 913-927, 6 maio 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-016-9561-x>.

BARBOSA JÚNIOR, Afonso Frazão *et al.* Conceitos e aplicações de Análise do Ciclo Vida (ACV) no Brasil. **Revista Ibero Americana de Estratégia**, [S. I.], v. 7, n. 1, p. 39-44, jan. 2008.

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 127, p. 221-232, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.

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**, [S.L.], v. 243, p. 118531, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118531>.

LI, Shulin. The Research on Quantitative Evaluation of Circular Economy Based on Waste Input-Output Analysis. **Procedia Environmental Sciences**, [S.L.], v. 12, p. 65-71, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.248>.

LÜTZKENDORF, Thomas; BALOUKTSI, Maria. Assessing a Sustainable Urban Development: typology of indicators and sources of information. **Procedia Environmental**

Sciences, [S.L.], v. 38, p. 546-553, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.122>

MALAR, João Pedro. **Como a economia circular pode ajudar empresas a reduzir consumo de água**: técnicas vão além do reuso, e especialistas apontam necessidade de políticas públicas de incentivo. São Paulo: CNN Brasil, 2021. 11 p. Disponível em: <http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/7595/cnn.pdf?sequence=1>. Acesso em: 7 maio 2022.

MESA, Jaime; ESPARRAGOZA, Iván; MAURY, Heriberto. Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 196, p. 1429-1442, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.131>.

OLIVEIRA, Lucas Rebello de; MEDEIROS, Raffaella Martins; TERRA, Pedro de Bragança; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves. Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. **Production**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 70-82, 10 nov. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132011005000062>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (Brasil). **A população mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050**. 2019. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/83427-populacao-mundial-deve-chegar-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu>. Acesso em: 13 mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Como as Nações Unidas apoiam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 6 jun. 2022.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Measuring and managing results in development co-operation**: a review of challenges and practices among DAC members and observers. [S. L.]: OECD, 2014. 68 p.

POTTING, José; HEKKERT, Marko; HEKKERT, Marko; HANEMAAIJER, Aldert. **Circular Economy**: measuring innovation in the product chain. [S. L.]: PBL Publishers, 2017. Disponível em: <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/358310>. Acesso em: 02 abr. 2022.

PRIETO-SANDOVAL, Vanessa; JACA, Carmen; ORMAZABAL, Marta. Towards a consensus on the circular economy. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 179, p. 605-615, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>.

RAUEN, André Tortato. Ciência, tecnologia e economia: características frente à primeira e segunda revoluções industriais. **Espaço Acadêmico**, Rio Grande do Sul, v. 66, n. 0, p. 1-3, 27 mar. 2022. Mensal.

RAWORTH, Kate. **Doughnut Economics**: seven ways to think like a 21 st-century economist. Londres: Penguin Random House, 2017. 372 p.

RODRIGUEZ-ANTON, J. M.; RUBIO-ANDRADA, L.; CELEMÍN-PEDROCHE, M. S.; ALONSO-ALMEIDA, M. D. M.. Analysis of the relations between circular economy and sustainable development goals. **International Journal Of Sustainable Development & World Ecology**, [S.L.], v. 26, n. 8, p. 708-720, 21 set. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/13504509.2019.1666754>.

ROSSI, Efigênia; BERTASSINI, Ana Carolina; FERREIRA, Camila dos Santos; AMARAL, Weber Antonio Neves do; OMETTO, Aldo Roberto. Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: plastic, textile and electro-electronic cases. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 247, p. 119137, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119137>.

ROCHA, Mariana Ceia Ramos Mariano da. **Economia Circular: para além do reaproveitamento de resíduos**. 2020. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Econômicas, Faculdade de Ciências Econômica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/216660>. Acesso em: 17 mar. 2022.

SAIDANI, Michael; YANNOU, Bernard; LEROY, Yann; CLUZEL, François. How to Assess Product Performance in the Circular Economy? Proposed Requirements for the Design of a Circularity Measurement Framework. **Recycling**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 6, 3 mar. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/recycling2010006SECCS>

SAIDANI, Michael; YANNOU, Bernard; LEROY, Yann; CLUZEL, François; KENDALL, Alissa. A taxonomy of circular economy indicators. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 207, p. 542-559, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.014>.

SCHROEDER, Patrick; ANGGRAENI, Kartika; WEBER, Uwe. The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. **Journal Of Industrial Ecology**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 77-95, 13 fev. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jiec.12732>.

SOUZA, Maria Cláudia Silva Antunes de; ARMADA, Charles Alexandre Souza. Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade: evolução epistemológica na necessária diferenciação entre os conceitos. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, Itajaí, v. 3, n. 2, p. 1-19, jul/dez 2017. Semestral

SU, Biwei; HESHMATI, Almas; GENG, Yong; YU, Xiaoman. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 42, p. 215-227, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>.

TEECE, David J.. Business Models, Business Strategy and Innovation. **Long Range Planning**, [S.L.], v. 43, n. 2-3, p. 172-194, abr. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003>.

THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (Inglaterra). **Economia Circular**. 2017. Disponível em: <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/diagrama-sistemico>. Acesso em: 15 mar. 2022.

TOSSI, Fabiano Martin; SIMON, Alexandre Tadeu; TERNERO, Ederson Mela. A economia circular como ferramenta de apoio ao desenvolvimento sustentável. **XVIII Encontro de**

Pesquisadores Desenvolvimento em Tempos de Oportunidades. Franca, p. 44-56. 17 nov. 2017

VAN BELLEN, Hans Michael. **Indicadores de sustentabilidade:** uma análise comparativa. 2002. 250 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/84033>. Acesso em: 7 mar. 2022

VELEVA, Vesela; BODKIN, Gavin; TODOROVA, Svetlana. The need for better measurement and employee engagement to advance a circular economy: lessons from biogen “zero waste” journey. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 154, p. 517-529, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.177>.