



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

Avaliação de prontidão das indústrias de transformação para a economia circular: uma revisão da literatura

Autor 1: Aliny Kely Antonelo,

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção-PPGEP

Autor 2: Marcel Mariano Correa Maceno

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção-PPGEP

Resumo: A crescente pressão sobre os recursos naturais, impulsionada pelo crescimento populacional, tecnológico e econômico, exige a busca por modelos de desenvolvimento mais sustentáveis. O conceito de "Desenvolvimento Sustentável" propõe o uso consciente dos recursos para atender às necessidades atuais sem comprometer as futuras gerações. Nesse contexto, a Economia Circular surge como uma abordagem que promove a reutilização de recursos e a minimização de resíduos. Este artigo visa listar os principais estudos que utilizaram ferramentas de avaliação da economia circular em níveis micro, meso e macro, explorar as barreiras enfrentadas na adoção dessas práticas e identificar oportunidades emergentes. A metodologia envolve a análise de literatura relevante sobre a eficiência e sustentabilidade nas operações industriais, utilizando ferramentas como Circulytics e Material Circularity Indicator. Os resultados indicam que, a implementação dessas ferramentas oferece benefícios significativos, como inovação e novas oportunidades de negócios sustentáveis. Além disso, o artigo destaca a importância da colaboração entre setores e a influência de políticas públicas na promoção da economia circular, sugerindo direções para futuras pesquisas que apoiem a evolução contínua dessas práticas.

Palavras-chave: Economia Circular, Desenvolvimento Sustentável, Prontidão de circularidade, Avaliação de circularidade

Assessment for the Readiness of Manufacturing Industries for the Circular Economy: A Literature Review

Abstract: The increasing pressure on natural resources, driven by population, technological, and economic growth, demands the search for more sustainable development models. The concept of "Sustainable Development," introduced in 1987, proposes the conscious use of resources to meet current needs without compromising future generations. In this context, the Circular Economy emerges as a crucial approach, promoting resource reuse and waste minimization. This article aims to list the main studies that have utilized assessment tools for the circular economy at the micro, meso, and macro levels, explore the barriers faced in adopting these practices, and identify emerging opportunities. The methodology involves analyzing relevant literature on efficiency and sustainability in business operations, using tools like Circulytics and the Material Circularity Indicator. Results indicate that, despite challenges in data collection and initial costs, implementing these tools offers significant benefits, such as innovation and new sustainable business opportunities

Keywords: Circular Economy, Sustainable Development, Circularity Readiness, Circularity Assessment.

1. Introdução

A crescente pressão sobre os recursos naturais e o bem-estar humano, impulsionada pelo crescimento populacional, tecnológico e econômico, exige a busca por modelos de desenvolvimento mais sustentáveis (Hammer e Lewis, 2023). Entre os principais desafios estão as mudanças climáticas, a gestão dos recursos naturais e a poluição dos ecossistemas (UN, 2023). Nesse contexto, o conceito de “Desenvolvimento Sustentável” foi introduzido em 1987 pelo relatório “Nosso Futuro”, definindo-o como o uso de recursos de maneira a atender as necessidades presentes sem comprometer as futuras gerações (Agnelli et al., 1991). Desde então, importantes agendas globais, como a RIO-92, os Objetivos do Milênio e a Agenda 2030, têm promovido a adoção de estratégias sustentáveis em diversas esferas (PNUD, 2023).

Dentro desse cenário, a Economia Circular (EC) surge como uma abordagem essencial para reformular os sistemas econômicos, promovendo a reutilização de recursos e a minimização de resíduos, em contraste com o modelo linear tradicional de “extrair, produzir, consumir e descartar” (HARTINI et al., 2022; NIU; YÜKSEL; DINÇER, 2023). A implementação da Economia Circular requer a avaliação do nível de prontidão das indústrias de transformação, a fim de identificar lacunas e oportunidades que possam facilitar essa transição. Esse processo não apenas oferece insights para as empresas, mas também fundamenta políticas públicas e ações coletivas que promovam o desenvolvimento sustentável (CHERRAFI et al., 2021; KAYIKCI et al., 2022; MENDOZA; PIGOSSO, 2023).

Para medir a circularidade nas operações das empresas e identificar oportunidades de melhoria, ferramentas como a Circulytics, da Fundação Ellen MacArthur, e o Material Circularity Indicator (MCI) são essenciais (Ellen MacArthur Foundation, 2023). A implementação dessas ferramentas, apesar dos desafios como a complexidade na coleta de dados e os custos iniciais, oferece benefícios significativos, incluindo eficiência de recursos, inovação, competitividade, redução de riscos e novas oportunidades de negócios sustentáveis (Val; Forés; Bovea, 2021; Gordan et al., 2023a).

Essas ferramentas de circularidade são fundamentais para a transformação empresarial rumo a uma economia mais sustentável. À medida que o avanço tecnológico e a crescente conscientização sobre a sustentabilidade progredirem, essas ferramentas continuarão a evoluir e a contribuir para um futuro mais resiliente (Trubina; Pešta; Lupíšek, 2024; WIPRÄCHTIGER et al., 2023).

A avaliação da circularidade em empresas, conforme o nível, já foi abordada na literatura anteriormente. A literatura destaca ferramentas como a Circulytics e o Material Circularity Indicator (MCI), que avaliam a eficiência e a sustentabilidade das operações individuais das empresas. Hapuwatte e Jawahir (2021) propõem ferramentas construídas por métricas dinâmicas para avaliar o desempenho sustentável de produtos, enquanto López Ruiz et al. (2023) e Oliveira et al. (2022) exploram estratégias multicritério para práticas circulares na reciclagem de concreto e na agroindústria. Sommerville et al. (2021) introduzem métodos para desenvolvimento de ferramentas em temas inovadores, como a reciclagem de baterias de íons de lítio, e Buyle et al. (2019) e Marvuglia et al. (2018) enfatizam a necessidade de uma abordagem holística que considere aspectos ambientais, econômicos e sociais na avaliação da circularidade.

No nível meso, a análise se concentra na avaliação da maturidade organizacional em empresas que adotam práticas circulares. Estudos como os de Brendzel (2021) e Scandurra et al. (2023a) investigam como diferentes setores e segmentos estão se adaptando à economia circular, desenvolvendo novos indicadores e metodologias. A diversidade de metodologias, desde a análise documental até o uso de modelos fuzzy (Elvira Haezendonck et al., 2022; Vimal et al., 2021), reflete a complexidade da transição para práticas circulares. No nível macro, pesquisas de Kaplyuk et al. (2023) e Albertsen et

al. (2023) discutem políticas e estruturas institucionais necessárias para promover a economia circular, enquanto Ferreira et al. (2023) abordam a desconexão entre competências tecnológicas e necessidades empresariais, e Balletto et al. (2023) destacam a importância da simbiose industrial para reduzir desperdícios urbanos.

O objetivo desta pesquisa é listar os artigos mais relevantes publicados que empregaram ferramentas para a avaliação da economia circular em empresas nos níveis micro, meso e macro, explorar as barreiras e desafios enfrentados na adoção dessas práticas, e identificar oportunidades e avanços emergentes. O artigo também analisa como diferentes setores aplicam práticas circulares e o papel dos atores e das políticas públicas na promoção da economia circular. Finalmente, foram listadas as ferramentas de avaliação de circularidade que abordaram o nível de empresa (meso).

Este artigo está dividido em 4 seções. A primeira, contextualiza o tema geral do trabalho, descreve o problema de pesquisa e o objetivo. A segunda seção, traz a metodologia empregada e terminologias importantes. A terceira, apresenta os resultados. A quarta, a conclusão e finalmente as referências bibliográficas.

2. Metodologia

Esta seção apresenta a terminologia dos níveis micro, meso e macro e a metodologia para o desenvolvimento da pesquisa.

2.1 Terminologia dos níveis micro, meso e macro

Para examinar a prontidão das empresas para a Economia Circular, é fundamental definir os níveis micro, meso e macro. O nível micro refere-se a aspectos específicos de uma indústria, como operações internas e exame de práticas como reciclagem, reutilização, remanufatura com foco em produto ou processo (Kazancoglu et al., 2021; De Pascale et al., 2023; Elia et al., 2022). O nível meso abrange grupos maiores, como indústrias e comunidades, arranjos produtivos, destacando a colaboração entre empresas, exemplificada pela simbiose industrial, onde há troca de subprodutos e recursos (Kayikci et al., 2022a) mas também pode abranger concomitantemente diferentes áreas organizacionais de uma mesma indústria, como operação e áreas de negócio e estratégicas. Por fim, o nível macro envolve estruturas e processos em larga escala, analisando políticas públicas e tendências que impactam regiões ou países. Esse nível discute a implementação de estratégias de sustentabilidade em larga escala, considerando diretrizes nacionais e internacionais (Kayikci et al., 2022a; De Pascale et al., 2023). Esses níveis, algumas vezes, são interligados, influenciando-se mutuamente.

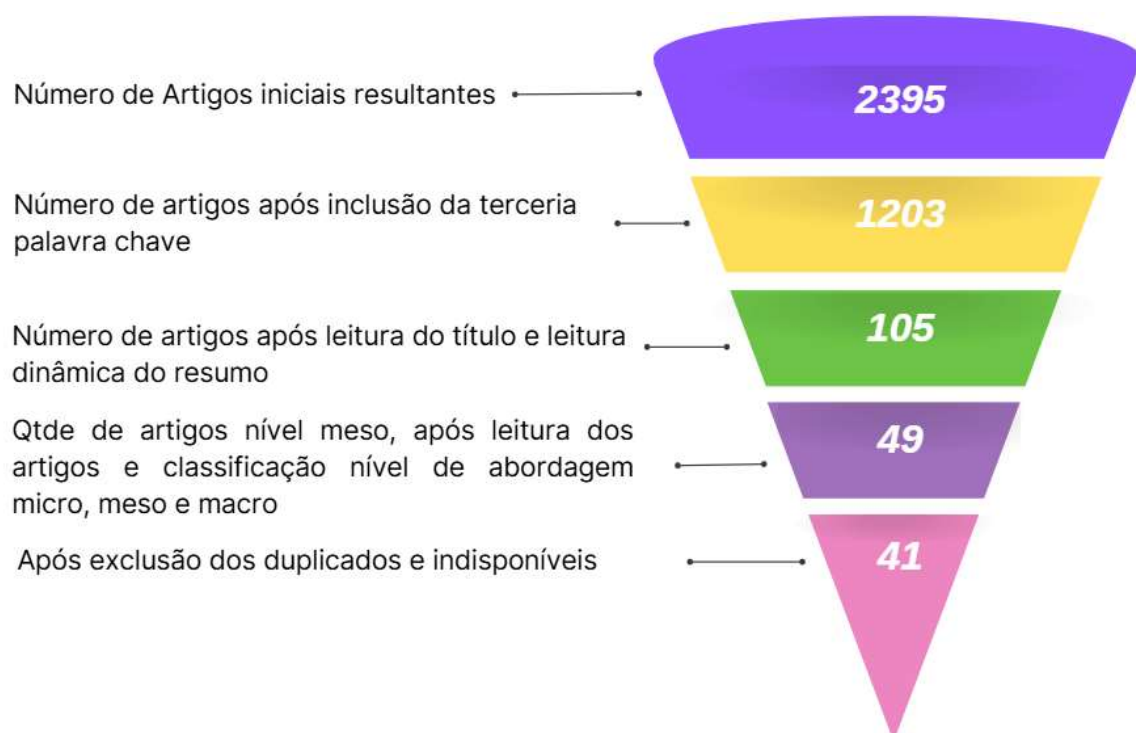
2.2 Revisão Sistemática da Literatura

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi realizada conforme Conforto e Amaral (2011) para identificar artigos sobre ferramentas que examinam a prontidão das empresas para a Economia Circular. A seguinte pergunta de pesquisa foi formulada: Quais artigos abordam ferramentas de avaliação da prontidão das empresas para a Economia Circular (EC)? Estratégias de busca foram definidas compreendendo a combinação de *strings* relacionadas ao tema, sendo elas: *Circular economy*, *circular assessment*, *circular evaluation*, *circular tools* e *maturity level*, *readiness*, *level of readiness*, *evaluation*, *diagnosis*, *readiness indicator*, *maturity level*. A pesquisa focou em artigos em inglês publicados entre 2000 e 2024, considerando essas combinações nos títulos, resumos e palavras-chave, além de critérios de inclusão e exclusão.

A busca inicial, que ocorreu na base de periódico Scopus resultou inicialmente em 2.395 artigos. Após adicionar a palavra-chave "*Industry*", o total foi reduzido para 1.203 artigos.

Os títulos, resumos e palavras-chave foram avaliados, resultando na seleção de 105 artigos que abordaram a prontidão para a economia circular. Na sequência, esses artigos foram classificados em três categorias, sendo elas micro, meso e macro. Essa classificação teve por objetivo investigar os métodos e ferramentas para avaliar a prontidão das empresas para a Economia Circular identificando tendências, lacunas e boas práticas que promovam a sustentabilidade e a implementação eficaz dos princípios circulares em níveis de produto/processo (micro), nível de empresas (meso) e país/região (macro). Após a exclusão de artigos duplicados e indisponíveis, foram selecionados 41 artigos que discutiram métodos ou ferramentas para avaliar a prontidão em EC de empresas no nível meso.

Figura 1 – Etapas do protocolo de revisão sistemática da literatura



Fonte: A Autora (2024)

3. Resultados

Este capítulo apresenta os resultados da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que examina a avaliação das empresas para a circularidade em três níveis: micro (produto e/ou processo), meso (empresas) e macro. Foram identificados 37 autores que abordaram o nível micro, 41 o nível meso e 9 o nível macro (Tabela 1). Além disso, 25 autores realizaram simultaneamente uma RSL, o que aumenta o número total de artigos, uma vez que alguns exploram mais de um nível, sendo classificados em ambas as categorias.

Observou-se que alguns autores contribuíram para todas as categorias, indicando uma abordagem multidisciplinar em suas pesquisas, como é o caso de Ferreira; Matias (2021c), Scandura, Aguiar; Jugend (2022b) e Silva; Sehnem (2022a). A seguir, os artigos foram discutidos detalhadamente conforme sua abordagem e nível de avaliação.

3.1 Avaliação da Circularidade em Níveis Micro, Meso e Macro

Nos estudos sobre ferramentas de prontidão para a economia circular no nível micro, que envolvem produtos e processos, destacam-se setores como construção civil, reciclagem e agroindústria. Os trabalhos resultantes da revisão da literatura (RSL) mostram que melhorar a sustentabilidade em diferentes indústrias é essencial. Hapuwatte e Jawahir (2021) propõem métricas dinâmicas para avaliar a sustentabilidade de produtos, levando em conta variações na demanda e produção. Estudos como os de Luis Alberto López Ruiz et al. (2023) e Mariana Oliveira et al. (2022) exploram estratégias multicritério para avaliar o desempenho ambiental e econômico de práticas circulares na reciclagem de concreto e na agroindústria, respectivamente. Sommerville et al. (2021) discutem métodos inovadores de reciclagem, como a reciclagem de baterias de íons de lítio, e a documentação de materiais na construção, ressaltando a complexidade da economia circular. Autores como Buyle et al. (2019) e Marvuglia et al. (2018) defendem uma abordagem holística que considera impactos ambientais, econômicos e sociais, enfatizando que a economia circular não se limita à minimização de resíduos, mas também busca promover o bem-estar social e econômico.

No nível meso, a avaliação da economia circular nas empresas se concentra na análise do nível de maturidade organizacional. Estudos de Brendzel (2021), Scandurra et al. (2023a) e Uhrenholt et al. (2022) exploram como as empresas estão se adaptando aos princípios da economia circular, utilizando abordagens variadas, desde a adaptação de modelos existentes até o desenvolvimento de novos indicadores de maturidade. A diversidade de setores analisados, como a indústria têxtil e o setor agroalimentar (Kayikci et al., Simone Sehnem et al. (2022), Federica Scandurra et al. (2023)), evidencia a aplicabilidade dos princípios circulares em diferentes contextos empresariais.

A metodologia varia entre os estudos, com algumas pesquisas combinando análise documental com entrevistas (Elvira Haezendonck et al., 2022), enquanto outras utilizam modelos fuzzy para medir a circularidade das organizações (Vimal et al., 2021). Os desafios enfrentados incluem lacunas de competência e a necessidade de uma cultura organizacional voltada para a economia circular (Silva; Sehnem, 2022b).

No nível macro, artigos como os de Ekaterina Kaplyuk et al. (2023) e Levke Albertsen et al. (2023) exploram políticas e estruturas institucionais que promovem a economia circular em diferentes contextos geográficos. Kaplyuk et al. (2022) discutem o papel do setor público na Rússia, sugerindo modelos "Top-down" e "Bottom-up" para a implementação de políticas de economia circular, enquanto Albertsen et al. analisam modelos de negócios circulares para baterias de veículos elétricos na UE, enfatizando a importância de políticas robustas e colaboração entre partes interessadas.

Ferreira et al. (2023) identificam uma desconexão entre as capacidades dos Centros de Tecnologia em Portugal e as necessidades empresariais, destacando a necessidade de alinhamento estratégico. Balletto et al. (2023) abordam a simbiose industrial como prática essencial para a economia circular, sugerindo que a colaboração entre indústrias e comunidades pode reduzir desperdícios. Yun Arifatul Fatimah et al. (2023) propõem um sistema de gestão de resíduos inteligente na Indonésia, utilizando tecnologias da Indústria 4.0.

3.2 Ferramentas de avaliação da Circularidade em níveis Meso.

Esta subseção apresenta uma lista das 15 ferramentas mais citadas de acordo com a base de periódicos Scopus, considerando ferramentas que avaliaram indústrias a nível de empresa (meso) (Tabela 1). A ferramenta *Four Control Levers (LoC Framework)* de Parida

et al. (2019), publicada em 2019, destaca-se com o maior número de citações, totalizando 216. Apesar de ser a publicação mais antiga da lista, apresenta um número de citações alto quando comparadas com as demais ferramentas. Outras ferramentas de avaliação da prontidão para a economia circular das indústrias, como *MATCHE* e *R2Pi*, também apresentam números consideráveis de citações, refletindo um interesse crescente em abordagens que facilitam a transição para a economia circular e a avaliação de suas práticas.

Observa-se uma redução no número de citações à medida que se avança na lista, o que pode ser explicado pela data de publicação mais recente de algumas ferramentas. Isso sugere que, enquanto algumas metodologias se consolidaram como referência, outras ainda estão em estágios iniciais de aceitação ou visibilidade na comunidade acadêmica. Essa dinâmica evidencia a necessidade de mais pesquisas e validações para ferramentas menos conhecidas, representando uma oportunidade para aprofundar a compreensão e a aplicação da economia circular.

Tabela 1 – Ferramentas de avaliação da prontidão para e Economia Circular mais citadas na base Scopus

Número de Citações	Autores	Nome da ferramenta
216	Parida, V. et al, (2019)	Four Control Levers (LoC Framework)
49	Pigosso, D.C.A. e McAloone, T.C.(2021)	MATCHE (Making the Transition to a Circular Economy)
28	Brendzel-Skowera, K. (2021)	R2Pi (Horizon 2020 program) and CMMI - Capability Maturity Model Integration
24	González, A., et al, (2021)	Circular Economy Assessment Methodology
20	Kayikci, Y. et al, (2022)	Readiness and Maturity Index Scores of Smart Circular Supply Chain (SCSC)
13	Uhrenholt, J.N. , et al,(2022)	Maturity Model
13	Tedesco, M. Simioni, et al,(2022)	ReSOLVE Framework (As a reference/base)
12	Wiprächtiger, M. et al, (2023)	The Industrial Ecology Tools for Assessing the Sustainable Circular Economy Potential Approach (IE4CE)
9	Urain, I., Eguren, J.A. e Justel, D. (2022)	Industrial Circular Economy Questionnaire (ICEQ)
8	Bertassini, A.C., et al,(2022)	Integrated Fuzzy Delphi Method (FDM) and Fuzzy Inference System (FIS) and Maturity Model (Unnamed)
7	Josimović, B. et al, (2021)	Multi-Criteria Evaluation Method (MCE)
5	Ruiter, H. et al, (2022)	Control Levers (Simons' LoC Framework)
3	Chiarot, C., Cooper Ordoñez e .E.Lahura, C.(2022)	ReSOLVE Framework + Barquet System Service-Product (PSS) (As a reference/base)
2	Adlin, N. , Lanz, M. e Lohtander, M.(2023)	Regional Profile of the Circular Economy
1	Mendoza, J.M.F. e Pigosso, D.C.A. (2023)	Ready2LOOP

FONTE: A Autora (2024)

Autores como Uhrenholt et al. (2022) e Tedesco et al. (2022), ambos com 13 citações, demonstram que algumas ferramentas estão sendo rapidamente reconhecidas, apresentando-se como uma ferramenta-tendência dentro das pesquisas sobre o tema. O *Readiness and Maturity Index Scores of Smart Circular Supply Chain* por Kayikci et al. (2022), que também se destaca com 20 citações, evidencia que as pesquisas recentes estão atraindo atenção significativa.

4. Conclusões

A pesquisa sobre a avaliação da circularidade em três níveis sendo: micro, meso e macro—oferece uma visão abrangente das tendências atuais e práticas emergentes em economia circular. Os resultados demonstram um aumento no interesse por soluções sustentáveis em setores como construção civil, eólico, reciclagem e agroindústria. No nível micro, abordagens como as métricas dinâmicas de Hapuwatte e Jawahir (2021) e as estratégias multicritério de López Ruiz et al. (2023) e Oliveira et al. (2022) evidenciam a complexidade e a adaptabilidade necessárias para avaliar a sustentabilidade de produtos e processos, considerando as flutuações de demanda e produção.

No nível meso, a análise da prontidão organizacional destaca como as empresas estão integrando os princípios da economia circular. Estudos de Brendzel (2021) e Scandurra et al. (2023) abordaram a importância de desenvolver indicadores que se adequem às características específicas de cada setor. As metodologias variadas, que vão desde análises documentais até modelos *fuzzy*, revelam um rico campo de pesquisa, mas também desafios persistentes, como a necessidade de competências adequadas e uma cultura organizacional voltada à inovação.

No nível macro, investigações sobre políticas e estruturas institucionais, como as abordagens de Kaplyuk et al. (2023) e Albertsen et al. (2023), ressaltam a importância da colaboração entre *stakeholders* para a implementação efetiva da economia circular. A desconexão entre as capacidades tecnológicas e as necessidades empresariais em Portugal, conforme apontado por Ferreira et al. (2023), reforça a necessidade de um alinhamento estratégico entre os setores público e privado.

A identificação das ferramentas mais citadas, especialmente o *Four Control Levers (LoC Framework)* de Parida et al. (2019), revela metodologias já consolidadas e aponta para a necessidade de validação e pesquisa adicional em ferramentas emergentes. A redução nas citações sugere que muitas metodologias ainda buscam reconhecimento, indicando um campo promissor para novas investigações.

Para trabalhos futuros, recomenda-se uma abordagem que integre estudos de caso em diferentes setores, permitindo a avaliação prática das ferramentas identificadas. A investigação das interações entre políticas institucionais e adoção de práticas circulares pode oferecer *insights* valiosos para formuladores de políticas. Focar na relação entre maturidade organizacional das indústrias, nível meso, e resultados de práticas circulares poderia enriquecer a compreensão de como as empresas podem se adaptar e prosperar, contribuindo para uma transição eficaz rumo à sustentabilidade.

Referências

AGUIAR, M. F.; JUGEND, D. Circular product design maturity matrix: A guideline to evaluate new product development in light of the circular economy transition. *Journal of Cleaner Production*, v. 365, 2022a.

AGUIAR, M. F.; JUGEND, D. Circular product design maturity matrix: A guideline to evaluate new product development in light of the circular economy transition. *Journal of Cleaner Production*, v. 365, p. 132732, 10 set. 2022b.

ALBERTO LÓPEZ RUIZ, L. et al. Multicriteria analysis of the environmental and economic performance of circularity strategies for concrete waste recycling in Spain. *Waste Management*, v. 144, p. 387–400, 2022.

ALBERTSEN, L. et al. Circular business models for electric vehicle lithium-ion batteries: An analysis of current practices of vehicle manufacturers and policies in the EU. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 172, 2021.

ALEJANDRINO, C.; MERCANTE, I. T.; BOVEA, M. D. Combining O-LCA and O-LCC to support circular economy strategies in organizations: Methodology and case study. *Journal of Cleaner Production*, v. 336, 2022.

AMARASINGHE, I.; HONG, Y.; STEWART, R. A. Development of a material circularity evaluation framework for building construction projects. *Journal of Cleaner Production*, v. 436, 2024.

BALLETTO, G. et al. *Industrial Symbiosis and Circular Urban Practices*. [s.l: s.n.]. v. 463 LNCE

BALLETTO, G. et al. *Industrial Symbiosis and Circular Urban Practices*. [s.l: s.n.]. v. 463 LNCE

BARBOSA, M. Z. et al. Life cycle approach applied to the production of ceramic materials incorporated with ornamental stone wastes. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, n. 7, p. 9957–9970, 2022.

BARROS, M. V. et al. Going in Circles: Key Aspects for Circular Economy Contributions to Agro-industrial Cooperatives. *Circular Economy and Sustainability*, v. 3, n. 2, p. 861–880, 1 jun. 2023.

BASHYNSKA, I. et al. Performance Assessment of Sustainable Leadership of Enterprise's Circular Economy-Driven Innovative Activities. *Sustainability (Switzerland)*, v. 16, n. 2, 2024.

BAUMER-CARDOSO, M. I.; ASHTON, W. S.; CAMPOS, L. M. S. Measuring the Adoption of Circular Economy in Manufacturing Companies: the Proposal of the Overall Circularity Effectiveness (OCE) Index. *Circular Economy and Sustainability*, v. 3, n. 1, p. 511–534, 2023.

BRENDZEL-SKOWERA, K. Circular economy business models in the sme sector. *Sustainability (Switzerland)*, v. 13, n. 13, 2021.

BUYLE, M. et al. Sustainability assessment of circular building alternatives: Consequential LCA and LCC for internal wall assemblies as a case study in a Belgian context. *Journal of Cleaner Production*, v. 218, p. 141–156, 2019.

CAMANA, D. et al. Assessing environmental sustainability of local waste management policies in Italy from a circular economy perspective. An overview of existing tools. *Sustainable Production and Consumption*, v. 27, p. 613–629, 2021.

CHENG, C.-P.; LIN, C.-H. Enhancing the linkage between resource recycling and cradle-to-cradle production: A cluster approach promoting circular economy. 14th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology, EARTH 2017. *Anais...2017*.

CHIAROT, C.; COOPER ORDOÑEZ, R. E.; LAHURA, C. Evaluation of the Applicability of the Circular Economy and the Product-Service System Model in a Bearing Supplier Company. *Sustainability (Switzerland)*, v. 14, n. 19, 2022.

CORSINI, F. et al. Introducing the circular assessment of suppliers (CAoS) tool: A Kraljic matrix-based tool to facilitate circular procurement in private organizations. *Journal of Cleaner Production*, v. 452, 2024.

DE PASCALE, A. et al. The circular economy implementation at the European Union level. Past, present and future. *Journal of Cleaner Production*, v. 423, 2023.

DRÄGER, P. et al. Measuring circularity: evaluation of the circularity of construction products using the ÖKOBAUDAT database. *Environmental Sciences Europe*, v. 34, n. 1, 2022.

FANG, Y.; GAO, J. Evaluation and selection of industry development pattern for water conservation cities. *Boletim Técnico/Technical Bulletin*, v. 55, n. 17, p. 12–19, 2017.

FATIMAH, Y. A. et al. Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, v. 269, 2020.

FERREIRA, L.; MATIAS, R. Mapping Competences of the Technological Interface Centers to Support the Transition of Portuguese Companies Toward the Circular Economy. *Frontiers in Sustainability*, v. 2, 2021a.

FERREIRA, L.; MATIAS, R. Mapping Competences of the Technological Interface Centers to Support the Transition of Portuguese Companies Toward the Circular Economy. *Frontiers in Sustainability*, v. 2, 2021b.

FERREIRA, L.; MATIAS, R. Mapping Competences of the Technological Interface Centers to Support the Transition of Portuguese Companies Toward the Circular Economy. *Frontiers in Sustainability*, v. 2, p. 739052, 15 out. 2021c.

GOLINSKA-DAWSON, P.; WERNER-LEWANDOWSKA, K.; KOSACKA-OLEJNIK, M. Responsible resource management in remanufacturing—framework for qualitative assessment in small and medium-sized enterprises. *Resources*, v. 10, n. 2, p. 1–17, 2021a.

GOLINSKA-DAWSON, P.; WERNER-LEWANDOWSKA, K.; KOSACKA-OLEJNIK, M. Responsible resource management in remanufacturing—framework for qualitative assessment in small and medium-sized enterprises. *Resources*, v. 10, n. 2, p. 1–17, 2021b.

HAEZENDONCK, E.; VAN DEN BERGHE, K. Patterns of circular transition: What is the circular economy maturity of Belgian ports? *Sustainability (Switzerland)*, v. 12, n. 21, p. 1–15, 2020.

HALEEM, A. et al. Supplier evaluation in the context of circular economy: A forward step for resilient business and environment concern. *Business Strategy and the Environment*, v. 30, n. 4, p. 2119–2146, 2021.

HAPUWATTE, B. M.; JAWAHIR, I. S. Closed-loop sustainable product design for circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, v. 25, n. 6, p. 1430–1446, 2021.

HAPUWATTE, B. M.; SEEVERS, K. D.; JAWAHIR, I. S. Metrics-based dynamic product sustainability performance evaluation for advancing the circular economy. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 64, p. 275–287, 2022.

HEISEL, F.; RAU-OBERHUBER, S. Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster. *Journal of Cleaner Production*, v. 243, 2020.

HERNANDES DE PAULA E SILVA, M. et al. Lean-circular maturity model (LCMM) for companies' self-assessment in terms of process, product and life cycle thinking. *Waste Management*, v. 173, p. 172–183, 2024a.

HERNANDES DE PAULA E SILVA, M. et al. Lean-circular maturity model (LCMM) for companies' self-assessment in terms of process, product and life cycle thinking. *Waste Management*, v. 173, p. 172–183, 2024b.

JOSIMOVIĆ, B. et al. Multi-criteria Evaluation in Strategic Environmental Assessment in the Creation of a Sustainable Agricultural Waste Management Plan for wineries: Case Study: Oplenac Vineyard. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, v. 34, n. 1, 2021.

KAPLYUK, E.; RUDNEVA, K. Strategic Diagnostics of Directions Circular Transformation Industrial Complex. [s.l: s.n.]. v. 684 LNNS

KAPLYUK, E.; RUDNEVA, K. Strategic Diagnostics of Directions Circular Transformation Industrial Complex. [s.l: s.n.]. v. 684 LNNS

KAYIKCI, Y. et al. Assessing smart circular supply chain readiness and maturity level of small and medium-sized enterprises. *Journal of Business Research*, v. 149, p. 375–392, 2022.

KOLLING, C. et al. A conceptual model to support sustainable Product-Service System implementation in the Brazilian agricultural machinery industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 355, 2022.

KÜHL, C. et al. The circularity of product-service systems: the role of macro-, meso- and micro-level contextual factors. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 43, n. 4, p. 619–650, 2023.

LANARAS-MAMOUNIS, G. et al. A Framework for Assessing the Contribution of Firms to Circular Economy: a Triple-Level Approach. *Circular Economy and Sustainability*, v. 2, n. 3, p. 883–902, 2022.

LI, R. Evaluating the Development Path of Manufacturing Industry under Carbon Neutralisation. *Ecological Chemistry and Engineering S*, v. 30, n. 4, p. 581–593, 2023.

LIANG, W.-Z.; ZHAO, G.-Y.; HONG, C.-S. Performance assessment of circular economy for phosphorus chemical firms based on VIKOR-QUALIFLEX method. *Journal of Cleaner Production*, v. 196, p. 1365–1378, 2018.

MANSUINO, M.; THAKUR, J.; LAKSHMI, A. Turning the wheel: Measuring circularity in Swedish automotive products. *Sustainable Production and Consumption*, v. 45, p. 139–157, 2024.

MARVUGLIA, A. et al. Emergy-based indicators to measure circularity: Promises and problems. *Polityka Energetyczna*, v. 21, n. 4, p. 179–196, 2018.

MESA, J. A.; GONZÁLEZ-QUIROGA, A. Development of a diagnostic tool for product circularity: a redesign approach. *Research in Engineering Design*, v. 34, n. 4, p. 401–420, 2023.

OLIVEIRA, M. et al. Circular economy in the agro-industry: Integrated environmental assessment of dairy products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 148, 2021.

PAN, Y. et al. Semiconductor industry's transformation path under circular economy: Evidence from micro-level efficiency evaluation. *Computers and Industrial Engineering*, v. 189, 2024.

PRIETO-SANDOVAL, V. et al. Beyond the circular economy theory: Implementation methodology for industrial smes. *Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 14, n. 3, p. 425–438, 2021.

RUITER, H.; DE FEIJTER, F.; WAGENSVELD, K. Management control and business model innovation in the context of a circular economy in the dutch construction industry. Sustainability (Switzerland), v. 14, n. 1, 2022.

SCANDURRA, F. et al. The maturity level of the agri-food sector in the circular economy domain: A systematic literature review. Environmental Impact Assessment Review, v. 100, 2023a.

SCANDURRA, F. et al. The maturity level of the agri-food sector in the circular economy domain: A systematic literature review. Environmental Impact Assessment Review, v. 100, 2023b.

SCHUH, G. et al. Concept for Maturity Assessment of Remanufacturing Ability in Production Process Development. Procedia CIRP. Anais...2023.

SEHNEM, S. et al. Circular business models: level of maturity. Management Decision, v. 57, n. 4, p. 1043–1066, 2019a.

SEHNEM, S. et al. Improving sustainable supply chains performance through operational excellence: circular economy approach. Resources, Conservation and Recycling, v. 149, p. 236–248, 2019b.

SHEVCHENKO, T. et al. Completing the design for product circularity toolkit with hierarchical computation of circularity maturity diagram and redesign circular strategies. Journal of Cleaner Production, v. 437, 2024.

SHEVCHENKO, T.; CLUZEL, F. A CIRCULAR PRODUCT DESIGN TOOLKIT: METHODOLOGICAL BACKGROUND, BASIC PRINCIPLES AND BUILDING BLOCKS. Proceedings of the Design Society. Anais...2023a.

SHEVCHENKO, T.; CLUZEL, F. A CIRCULAR PRODUCT DESIGN TOOLKIT: METHODOLOGICAL BACKGROUND, BASIC PRINCIPLES AND BUILDING BLOCKS. Proceedings of the Design Society, v. 3, p. 59–68, 2023b.

SILVA, F. A. D.; SIMIONI, F. J.; HOFF, D. N. Diagnosis of circular economy in the forest sector in southern Brazil. Science of the Total Environment, v. 706, 2020.

SILVA, T. H. H.; SEHNEM, S. Industry 4.0 and the Circular Economy: Integration Opportunities Generated by Startups. Logistics, v. 6, n. 1, 2022a.

SILVA, T. H. H.; SEHNEM, S. Industry 4.0 and the Circular Economy: Integration Opportunities Generated by Startups. Logistics, v. 6, n. 1, 2022b.

SOMMERVILLE, R. et al. A qualitative assessment of lithium ion battery recycling processes. Resources, Conservation and Recycling, v. 165, 2021.

STILLITANO, T. et al. A customized multi-cycle model for measuring the sustainability of circular pathways in agri-food supply chains. Science of the Total Environment, v. 844, 2022.

TEDESCO, M. et al. Assessment of the circular economy in the Brazilian planted tree sector using the ReSOLVE framework. Sustainable Production and Consumption, v. 31, p. 397–406, 2022.

TOKAZHANOV, G. et al. Circularity assessment tool development for construction projects in emerging economies. Journal of Cleaner Production, v. 362, 2022.

TSAKALOVA, M. et al. A circular economy framework for the assessment of bio-based value chains. Sustainable Chemistry for the Environment, v. 6, 2024.

- UHRENHOLT, J. N. et al. Maturity Model as a Driver for Circular Economy Transformation. Sustainability (Switzerland), v. 14, n. 12, 2022.
- ÜNAL, E.; SINHA, V. K. Sustainability trade-offs in the circular economy: A maturity-based framework. Business Strategy and the Environment, v. 32, n. 7, p. 4662–4682, 2023.
- URAIN, I.; EGUREN, J. A.; JUSTEL, D. Development and validation of a tool for the integration of the circular economy in industrial companies: Case study of 30 companies. Journal of Cleaner Production, v. 370, 2022.
- VALTERE, M.; BEZRUCKO, T.; BLUMBERGA, D. Analysis of Textile Circularity Potential. Environmental and Climate Technologies, v. 27, n. 1, p. 220–232, 2023.
- VIMAL, K. E. K. et al. Application of multi grade fuzzy approach to compute the circularity index of manufacturing organizations. Procedia CIRP. Anais...2021.
- WANG, N. et al. Evaluation of Urban circular economy development: An empirical research of 40 cities in China. Journal of Cleaner Production, v. 180, p. 876–887, 2018.
- WANG, X. A prediction method of the stability of the recycling industry chain based on bayesian network. International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology, v. 17, n. 7, p. 8.1-8.3, 2016.
- WIPRÄCHTIGER, M. et al. Combining industrial ecology tools to assess potential greenhouse gas reductions of a circular economy: Method development and application to Switzerland. Journal of Industrial Ecology, v. 27, n. 1, p. 254–271, 2023.
- WIPRÄCHTIGER, M.; HELLWEG, S. Circularity assessment in a chemical company. Evaluation of mass-based vs. impact-based circularity. Resources, Conservation and Recycling, v. 204, 2024.
- YANG, C.-K.; MA, H.-W.; YUAN, M.-H. Measuring circularity potential for medical waste management – a dynamic circularity performance analysis. Sustainable Environment Research, v. 33, n. 1, 2023.
- ZARAFSHANI, H. et al. SAB: An open-access Python-based integrated platform for fully automated emergent sustainability assessment of biorefineries. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 29, n. 4, p. 632–651, 2024.