

## **Influência da modularidade na geração de modelos de negócios mais circulares**

**Proponente:** NATÁLIA MACHADO DA SILVA

E-mail: [natalia.machado@academico.ufpb.br](mailto:natalia.machado@academico.ufpb.br)

Tel: (83) 996911161

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – PPGEPS

Universidade Federal da Paraíba

**Orientadora:** PROFA. DRA. SANDRA NAOMI MORIOKA

## INTRODUÇÃO

A economia linear consiste em processos de extrair, produzir e descartar. Seguindo essa lógica, os recursos são extraídos da natureza, transformados em bens de consumo e descartados ao final de sua vida útil. Além disso, existem as perdas e resíduos do próprio processo produtivo. Com esse sistema linear e a previsão dos especialistas para um crescimento da população global de 9 bilhões em 2050 (Bastein et al., 2013), a demanda global por recursos deve triplicar, o que requer uma utilização muito maior dos recursos naturais, o que inclui materiais, água, energia e terra fértil (UNEP, 2011).

A economia circular (EC) surge como uma alternativa para a substituição da economia linear, visando prolongar a vida útil de produtos, componentes e materiais em circulação e sem perda de valor, tanto quanto possível e eliminar o desperdício (Bocken et al., 2017; Sariatli, 2017). Nesse contexto, a EC é vista como um sistema econômico que se baseia em modelos de negócios que substituem o fim da vida de materiais em processos de produção, distribuição e consumo com a redução, reutilização, reciclagem e recuperação (Kirchherr et al., 2017).

De acordo com Thelen et al. (2008), já estamos no momento de transição de uma economia linear para uma EC e essa transição resultará em mudanças nos modelos de negócios existentes, o que requer uma análise da forma de atuação e envolvimento das partes interessadas, de forma a expandir a vida útil dos produtos. É nesse momento que surgem os modelos de negócios circulares, que tem como elementos fundamentais: a circulação da proposição de valor, criação, entrega e captura de valor (Geissdoerfer et al., 2018) em ciclos fechados de materiais (Mentink, 2014).

Seguindo essa perspectiva, vários estudos começaram a analisar o amplo campo de modelos de negócios circulares. Alguns autores propõem simulações computacionais em modelos de negócios para desacelerar e fechar os ciclos de recursos (Franco, 2019), outros tentam identificar aspectos que influenciam na implementação de modelos de negócios circulares (Salvador et al., 2020) e vários outros autores abordam o contexto de modelos de negócios circulares por meio de revisões sistemáticas da literatura (Centobelli et al., 2020; Geissdoerfer et al., 2020; Ludeke-Freund et al., 2018).

No entanto, apesar de já haver um avanço no conhecimento sobre modelos de negócios circulares, autores comentam sobre a necessidade de ampliar os estudos nessa área de pesquisa de forma empírica. Na literatura, práticas estão começando a surgir para fomentar o pensamento da EC nas organizações, porém poucas dessas práticas fornecem suporte sobre como os requisitos da EC podem ser implementados (Mendoza et al., 2017). Isso é corroborado por Ünal et al. (2019), ao argumentarem que é necessária uma investigação mais profunda para entender como as empresas podem implementar práticas de economia circular para propor, criar, entregar e capturar valor. Na realidade, uma linha de ação para apoiar a mudança de modelos de negócios lineares para modelos de negócios circulares ainda está faltando ser abordada (Rosa et al., 2019).

Nesse cenário, a literatura aponta que uma das formas para incentivar a implantação de modelos de negócios circulares pode se dar por meio da modularidade de produtos, visando melhorias de desempenho na remanufatura, reutilização e reciclagem (Bian et al., 2016; Go et al., 2015; Liao, 2018; Yan & Feng, 2014). A modularidade é uma abordagem para organizar produtos e processos complexos de forma relativamente mais simples por meio de módulos, evitando a criação de fortes dependências entre os componentes (Baldwin & Clark, 1997). Em termos mais amplos, um design modular visa desenvolver módulos e interfaces destacáveis que possibilitem novas variações de produtos, montagem e desmontagem simples para melhorar o ciclo de vida dos produtos (Gu et al., 1997).

Há um interesse crescente na modularidade por parte dos profissionais, como uma estratégia de gerenciamento do ciclo de vida do produto, que pode ser implementada por meio de um processo de tomada de decisão, considerando os interesses das partes interessadas envolvidas ao longo do ciclo de vida do produto (Micheli et al., 2019). Nesse sentido, pesquisas recentes como Ferreira e Fuso-Nerini (2019), Chouinard et al. (2019) e Schalkwyk et al. (2018) relacionaram a modularidade com a economia circular e identificaram que a modularidade é uma estratégia importante para aprimorar os processos de recuperação de produtos, reciclagem e circularidade de materiais.

No entanto, a partir da literatura pesquisada, ainda são poucos estudos que relacionam a modularidade com a economia circular. Destacando-se aqui, a lacuna de pesquisa que este trabalho se propõe a minimizar. Isso é corroborado por Mignacca et al., (2020) ao comentarem que a modularização e a economia circular são áreas ricas de pesquisas e de interesse de acadêmicos, profissionais e formuladores de políticas, mas ainda existe uma falta de conhecimento na integração entre as duas grandes áreas de conhecimento. Assim, a pergunta de pesquisa que norteia este estudo é: De que forma a modularidade pode influenciar na geração de modelos de negócios mais circulares?

A geração de modelos de negócios circulares tem ganhado cada vez mais espaço de discussão em relação às estratégias que devem ser adotadas pelas empresas. Nesse sentido, Ellen Macarthur (2015) argumenta que os modelos de negócios circulares precisam desenvolver competências essenciais de desenvolvimento de produtos com facilidade de separação ou reutilização no fim da vida. Sendo essas as características da modularidade. Numa perspectiva mais ampla, explorar os benefícios da modularidade acumulados ao longo do tempo do nível político e industrial, pode se tornar um meio para contribuir na geração da economia circular (Mignacca et al., 2020). Desta forma, esta pesquisa justifica-se na medida em que está analisando a incorporação da modularidade como facilitadora da EC, viabilizando a identificação de benefícios e barreiras da modularidade que influenciam na geração de modelos de negócios mais circulares.

Nesse sentido, a presente pesquisa tem uma ênfase mais gerencial na relação da modularidade e modelos de negócios circulares que pretende contribuir na tomada de decisão das organizações. Assim, este estudo traz contribuições teóricas no que se refere ao avanço do conhecimento sobre a integração dos dois campos de conhecimento, modularidade e modelos de negócios circulares, por meio de um *framework* que relaciona benefícios e barreiras da modularidade na transição de modelos de negócios lineares em modelos de negócios circulares. Além disso, traz contribuições práticas, uma vez que pode ser aplicado em organizações que buscam ferramentas que contribuam na viabilização da EC.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo geral***

Analisar benefícios e barreiras da modularidade que podem influenciar na geração de modelos de negócios mais circulares.

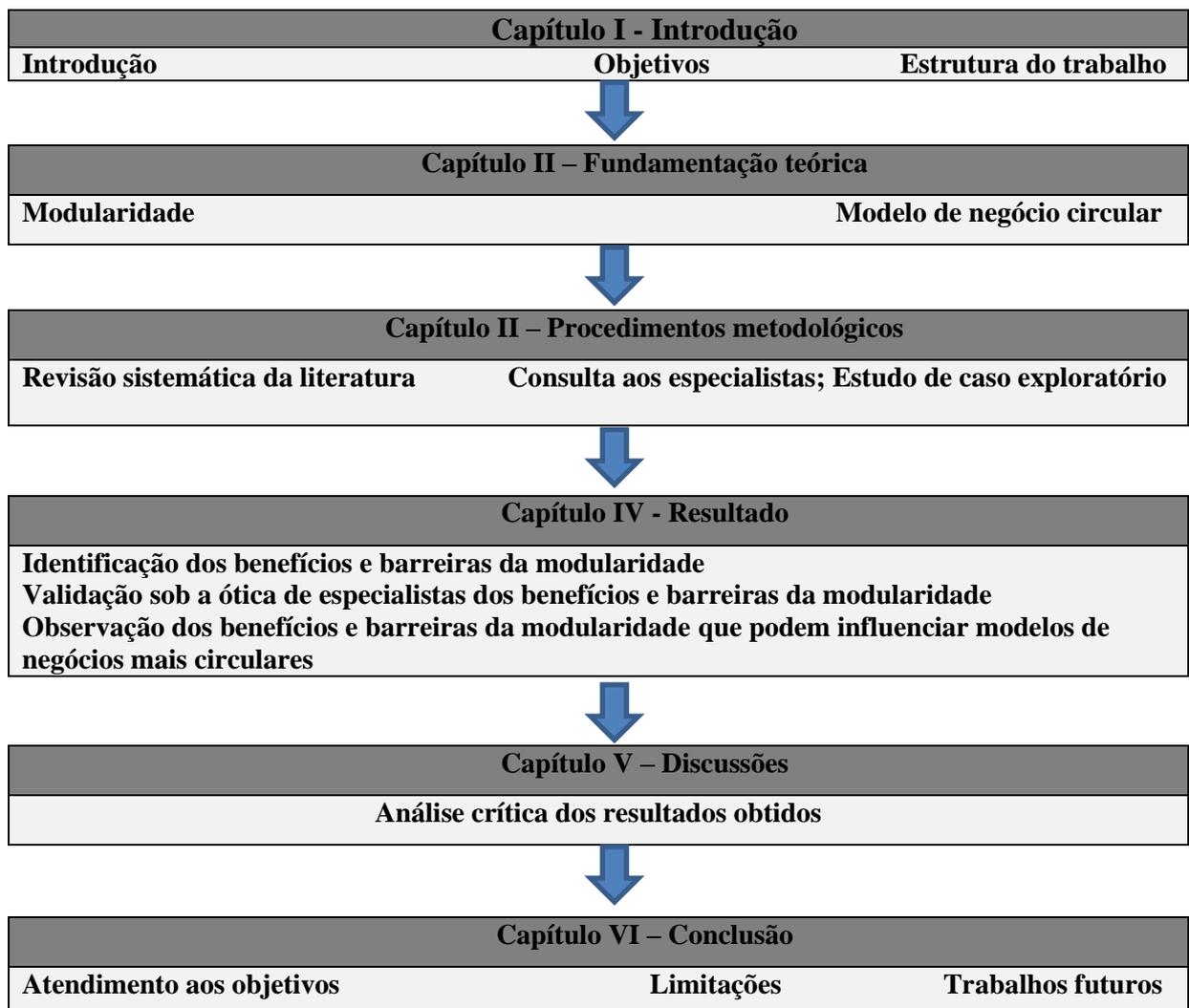
### ***1.1.2 Objetivos específicos***

- Identificar na literatura benefícios e barreiras da modularidade que podem influenciar na geração de modelos de negócios mais circulares;
- Validar sob a ótica de especialistas os benefícios e barreiras da modularidade que podem influenciar na geração de modelos de negócios mais circulares;

- Observar em empresas com produtos modulares a influência da modularidade na geração de modelos de negócios mais circulares por meio de um *framework*.

## 1.2 Estrutura do trabalho

O trabalho foi estruturado de acordo com a Figura 1, apresentado em seis capítulos. O capítulo um é introdutório que aborda o tema, problema de pesquisa, justificativa, delimitação do tema, objetivos (geral e específicos) e a estrutura de trabalho. O capítulo dois é a fundamentação teórica e apresenta os principais conceitos de modularidade e conceitos de modelos de negócios circulares. O capítulo três contém os procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento da revisão sistemática da literatura que utilizou o procedimento definido por (Tranfield et al., 2003), consulta aos especialistas (Franklin & Hart, 2007) e os procedimentos para o desenvolvimento dos estudos de casos exploratórios definidos por (Yin, 2015). O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos da revisão sistemática da literatura e os resultados obtidos no painel de especialistas e dos estudos de casos exploratórios. Já o capítulo cinco traz as discussões com base na análise crítica dos resultados obtidos, confrontando-os com a literatura. Por fim, o sexto capítulo apresenta as conclusões finais, limitações e sugestões de trabalhos futuros.



**Figura 1.** Estrutura do trabalho.

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Modelo de negócio circular

O termo Modelo de negócio circular tem ganhado destaque na literatura e nas organizações, mas ainda é um conceito incipiente e vários autores têm buscado definir o conceito para proporcionar uma maior clareza sobre o tema (Geissdoerfer et al., 2018; Salvador et al., 2020). A tabela 1 traz algumas definições de modelo de negócio circular de autores que têm estudado essa área de conhecimento.

Tabela 1  
**Definições de modelo de negócio circular**

Autores	Definição
Nußholz (2017)	“Um modelo de negócios circular é como uma empresa cria, captura e entrega valor com a lógica de criação de valor projetada para melhorar a eficiência de recursos, contribuindo para estender a vida útil de produtos e peças (por exemplo, por meio de design de longa duração, reparo e remanufatura) e fechamento de loops de materiais.” (p.12)
Mentink (2014)	“Um modelo de negócio circular é a lógica de como uma organização cria, entrega e captura valor com e dentro de loops de materiais fechados.” (p.24)
Geissdoerfer et al. (2020)	“Os modelos de negócios circulares podem ser definidos como modelos de negócios que circulam, estendem, intensificam e / ou desmaterializam loops de material e energia para reduzir a entrada de recursos e vazamento e emissão de resíduos de um sistema organizacional.” (p.7)
Linder & Williander (2015)	“Um modelo de negócio circular (CBM) é um modelo de negócios no qual a lógica conceitual para a criação de valor é baseada na utilização do valor econômico retido em produtos após o uso na produção de novas ofertas.” (p. 183)

Para esta pesquisa, modelo de negócio circular será caracterizado como a organização circula a sua proposição, criação, entrega e captura de valor em ciclos fechados de materiais (Geissdoerfer et al., 2018; Nußholz, 2017; Mentink, 2014). A proposição de valor refere-se ao que a empresa entrega para os seus clientes; criação e entrega de valor é voltada para o como a empresa cria e entrega valor para os seus clientes, considerando recursos, capacidades e a cadeia de valor da empresa; captura de valor aborda como a empresa gera fontes de receitas e economia do negócio (Richardson, 2008). Porém, o valor não deve ser apenas para os clientes, mas sim, para todas as partes interessadas que impactam ou são impactadas pelo negócio (Yang et al., 2017). Além disso, destacam-se os valores que deveriam ser capturados, mas ainda não são capturados pelas organizações, tendo como exemplos: fluxos de resíduos na produção, recursos subutilizados e componentes reutilizáveis de produtos danificados (Yang et al., 2017).

### 2.2 Modularidade

A modularidade refere-se à estrutura de produto ou processo composta de módulos que podem ser projetados de forma independente, mas funcionam juntos de forma integrada (Baldwin & Clark, 1997). Para Hölttä e Otto (2005), a flexibilidade com que os módulos podem ser alterados dentro de um sistema, é o que caracteriza uma boa modularidade.

A modularidade pode ser implementada em três dimensões, sendo: modularidade no produto que é voltada ao projeto de arquitetura e *design*; modularidade na produção que envolve a linha de montagem; modularidade em uso que é voltada ao consumidor, permitindo facilidade de utilização e a customização (Pandremenos et al., 2009). Para esta pesquisa, a dimensão da modularidade de produto é que será utilizada.

A modularidade pode ser implementada para atender diversos objetivos. Por exemplo, para uma grande e complexa montagem de produto que consiste em milhares de peças e tem um curto tempo de entrega, a modularidade para montagem é uma alternativa assertiva (Gu & Sosale, 1999). Nesse sentido, a modularidade visa melhorar as características gerais de *design*, fabricação, operação e pós-aposentadoria dos produtos (Sand et al., 2002).

Com a evolução do conhecimento, o conceito de modularidade é utilizado para extrair peça no fim da vida útil dos produtos. As peças extraídas são remontadas ou reconstruídas com a ajuda de um algoritmo genético usando domínio e conhecimento específico da indústria (Paras et al., 2018). A modularidade de produtos não implica necessariamente um melhor desempenho no final da vida útil do produto. Essa melhoria só pode ser garantida em casos específicos, por isso é importante obter uma visão da parte da modularidade que influencia no fim da vida útil (Collado-Ruiz & Capuz-Rizo, 2010).

Existem estudos que relacionam o design modular com o ciclo de vida de produtos. Por exemplo, Sand et al. (2002) apresentaram um novo método de design modular chamado *House Of Modular Enhancement (HOME)* para redesenho de produtos. Informações de vários aspectos do design do produto, incluindo requisitos funcionais, arquitetura do produto e requisitos do ciclo de vida foram incorporadas no método para ajudar a garantir que um produto modularizado atinja os objetivos determinados. Para garantir a eficácia do método, foi utilizado um rádio de duas vias como estudo de caso. Yan e Feng (2014) propuseram uma metodologia de modularidade do produto para integrar fatores ambientais, econômicos e sociais no processo de *design* de produtos através da representação do produto no que diz respeito aos critérios de agrupamento de módulos, com aplicação em uma bancada de laboratório de rotor para ilustrar a eficácia da metodologia proposta.

Segundo Go et al. (2015) os produtos não devem ser projetados para uma única solução de fim de vida, por exemplo, concentrando-se apenas no *design* para remanufatura. Os autores argumentam que se o ciclo de vida de vários produtos puder ser criado com sucesso, promoverá um tratamento de fim de vida economicamente competitivo e reduzirá os impactos ambientais de produtos descartados. Nesse sentido, Umeda et al. (2008) desenvolveram um método para determinar a estrutura modular agregando vários atributos relacionados ao ciclo de vida de um produto e avaliando a viabilidade geométrica dos módulos.

### **3 MÉTODO DE PESQUISA**

#### **3.1 Revisão sistemática da literatura**

O método de revisão sistemática da literatura foi utilizado para identificar na literatura benefícios e barreiras da modularidade que podem influenciar na geração de modelos de negócios mais circulares. Método transparente e reproduzível (Tranfield et al., 2003), fornece as contribuições de pesquisas anteriores na área (Webster & Watson, 2002), sendo realizado em três etapas: (i) planejamento da revisão, (ii) seguida pela condução da revisão e, por fim, (iii) relatórios e disseminação (Tranfield et al., 2003).

Em relação ao (i) planejamento, foram realizadas leituras exploratórias sobre modularidade e EC a fim de se construir uma percepção inicial acerca do tema em estudo, sendo possível identificar a lacuna e as perguntas de pesquisa.

Quanto à (ii) condução, iniciou-se pela definição dos termos de buscas e coleta de dados, onde uma amostra de artigos sobre modularidade e EC com suas variações foi obtida por meio da base *Web of Science* em junho de 2020. Foram utilizados os seguintes termos de buscas:

- Tópico: *modularity or modularization*
- AND
- Tópico: *"circular economy" or circularity or "circular business\*" or recycl\* or upcycl\* OR "closed-loops\*" OR "circle economy" OR remanufactur\* OR refurbish\* OR redistribut\**

A pesquisa foi limitada a artigos e revisões, sem restrições de tempo e resultou em 94 pesquisas. A primeira leitura dos trabalhos foi restrita ao título e resumo e resultou em 60 trabalhos que estavam alinhados com o objetivo da pesquisa. Critérios de inclusão e exclusão foram desenvolvidos para especificar quais pesquisas seriam levadas adiante após leitura do texto completo, com foco na introdução, método e conclusão. Sendo os critérios de inclusão:

- Estudos conceituais que exploram a modularidade e a EC ou suas variações, como: *circularity, circular business, recycl, upcycl, closed-loops, circle economy, remanufactur, refurbish e redistribut*.
- Estudos que integram a modularidade com a EC.
- Estudos que exploram a modularidade como facilitadora da EC.

Da mesma maneira, critérios de exclusão foram desenvolvidos:

- Estudos sobre modularidade ou EC que não abordam a integração entre ambos, como as pesquisas de: Hu e Zeng (2019); Fan et al. (2007); Westover et al. (2014). Embora esses estudos forneçam *insights* sobre o tema, eles não são úteis para responder as perguntas de pesquisa.
- Estudos que abordam a modularidade dentro do contexto de proteínas e células, como as pesquisas de: Miskovic et al. (2015); Porter et al. (2015); Fan et al. (2007); McNally et al. (2013).

A aplicação dos critérios de inclusão e exclusão resultou na amostra final de 49 trabalhos.

Para a extração dos dados, o estudo utilizou formulários de extração, usando o *Excel*, que contém informações, como: título, autor, detalhes da publicação, método de pesquisa, objetivos, resultados, contribuições e lacunas de pesquisa que são recomendadas para estudos futuros.

Assim, foi realizada uma análise de conteúdo dos trabalhos, que é um método de pesquisa amplamente utilizado com uma abordagem flexível e rigorosa para analisar os dados obtidos ou gerados durante o estudo (White & Marsh, 2006).

A terceira etapa, (iii) relatórios e disseminação, consiste na análise quantitativa e descritiva, incluindo distribuição anual, periódicos mais frequentes, cocitação das referências e coocorrência das palavras chaves.

E por fim, na dimensão qualitativa, foi realizada uma análise indutiva que é recomendada quando não há estudos anteriores investigando o fenômeno ou quando o conhecimento é fragmento (Elo & Kyngäs, 2008). Portanto, foi possível identificar os benefícios e barreiras da modularidade que podem influenciar na geração de modelos de negócios mais circulares. Essa classificação não ocorreu simplesmente pela coleta de informações semelhantes ou relacionadas, mas sim por uma análise aprofundada de cada estudo para uma efetiva integração.

### 3.2 Consulta aos especialistas

O método *Delphi* será utilizado para atender o objetivo de validar sob a ótica de especialistas os benefícios e barreiras da modularidade que podem influenciar na geração de modelos de negócios mais circulares. Este método é útil para estudar questões de pesquisas complexas por meio de opiniões de especialistas, proporcionando novas formas de pensar sobre problemas e soluções dentro de um contexto de análise (Franklin & Hart, 2007). Dessa forma, o método *Delphi* pode ser aplicado para validar resultados encontrados na literatura (Lima & Antony, 2016), pretendendo obter consenso nas respostas entre os especialistas (Linstone & Turoff, 2011).

O processo de consenso junto aos especialistas é realizado por meio da coleta das opiniões em várias rodadas que são analisadas e resumidas. Assim, os resultados das rodadas anteriores servem como entrada para as rodadas subsequentes, e os especialistas são solicitados a reavaliar suas opiniões e interpretar os resultados (Kudlak et al., 2018).

### 3.3 Estudo de caso

Para atender o objetivo de observar em empresas com produtos modulares a influência da modularidade na geração de modelos de negócios mais circulares por meio de um *framework*, será utilizada a metodologia de estudo de caso. O estudo de caso é uma pesquisa empírica que analisa um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real (Yin, 2015). Assim, as seguintes etapas foram realizadas: definição da estrutura conceitual; planejamento; coleta de dados; análise de dados e geração do relatório (Yin, 2015).

O presente estudo empírico constitui-se em uma pesquisa de caráter descritivo e exploratório. Segundo Gil (2002), as pesquisas descritivas têm como objetivo a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, o estabelecimento de relações entre variáveis. Ainda de acordo com Gil (2002), a pesquisa exploratória tem como principal objetivo desenvolver, esclarecer ou modificar conceitos e premissas, buscando formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos futuros.

A pesquisa possui caráter quantitativo e qualitativo. Referente aos instrumentos utilizará análise de documentos das empresas selecionadas, bem como entrevistas semiestruturadas, seguidas de um roteiro usado para coletar as percepções dos entrevistados.

## 4. REFERÊNCIAS

- Baldwin, C. Y., & Clark, K. B. (1997). Managing in an age of modularity. *Harvard Business Review*, 75(5), 84–93.
- Bastein, T., Roelofs, E., Rietveld, E., & Hoogendoorn, A. (2013). *Opportunities for a Circular Economy in the Netherlands. Report commissioned by the Netherlands Ministry of Infrastructure and Environment*. <https://www.tno.nl/media/8551/tno-circular-economy-for-ienm.pdf>
- Bian, J., Bai, H., Li, W., Yin, J., & Xu, H. (2016). Comparative environmental life cycle assessment of waste mobile phone recycling in China. *Journal of Cleaner Production*, 131, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.047>
- Bocken, N. M. P., Olivetti, E. A., Cullen, J. M., Potting, J., & Lifset, R. (2017). Taking the Circularity to the Next Level: A Special Issue on the Circular Economy. *Journal of Industrial Ecology*, 1–7. <https://doi.org/10.1111/jiec.12606>

- Centobelli, P., Cerchione, R., Chiaroni, D., Vecchio, P. Del, & Urbinati, A. (2020). Designing business models in circular economy : A systematic literature review and research agenda. *Business Strategy and the Environment*, 29, 1734–1749. <https://doi.org/10.1002/bse.2466>
- Chouinard, U., Pigosso, D. C. A., McAloone, T. C., Baron, L., & Achiche, S. (2019). Potential of circular economy implementation in the mechatronics industry: An exploratory research. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118014>
- Collado-Ruiz, D., & Capuz-Rizo, S. F. (2010). Modularity and ease of disassembly: Study of electrical and electronic equipment. *Journal of Mechanical Design*, 132(1), 0145021–0145024. <https://doi.org/10.1115/1.4000641>
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, 62(1), 107–115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. Cowes, UK: *Ellen MacArthur Foundation*; [www.ellenmacarthurfoundation.org](http://www.ellenmacarthurfoundation.org)
- Fan, Y., Li, M., Zhang, P., Wu, J., & Di, Z. (2007). The effect of weight on community structure of networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 378(2), 583–590. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2006.12.021>
- Ferreira, A. ., & Fuso-Nerini, F. (2019). A Framework for Implementing and Tracking Circular Economy in Cities: The Case of Porto. *Sustainability*, 11(6), 1813. <https://doi.org/10.3390/su11061813>
- Franco, M. A. (2019). A system dynamics approach to product design and business model strategies for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118327. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118327>
- Franklin, K. K., & Hart, J. K. (2007). Idea Generation and Exploration : Benefits and Limitations of the Policy Delphi Research Method. *Innov High Educ*, 31, 237–246. <https://doi.org/10.1007/s10755-006-9022-8>
- Geissdoerfer, M., Morioka, S. N., de Carvalho, M. M., & Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 190, 712–721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159>
- Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P. P., Pigosso, D. C. A., & Soufani, K. (2020). Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123741. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>
- Gil, A. C. (2002). Como elaborar projetos de pesquisa. (4, Ed.) (São paulo).
- Go, T. F., Wahab, D. A., & Hishamuddin, H. (2015). Multiple generation life-cycles for product sustainability: The way forward. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 95, pp. 16–29). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.065>
- Gu, P., Hashemian, M., Sosale, S., & Rivin, E. (1997). An Integrated Modular Design Methodology for Life-Cycle Engineering. *CIRP Annals*, 46(1), 71–74.

[https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60778-1](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60778-1)

- Gu, P., & Sosale, S. (1999). Product modularization for life cycle engineering. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 15(5), 387–401. [https://doi.org/10.1016/S0736-5845\(99\)00049-6](https://doi.org/10.1016/S0736-5845(99)00049-6)
- Hölttä, K. M. ., & Otto, K. . (2005). Incorporating design effort complexity measures in product architectural design and assessment. *Design Studies*, 26(5), 463–485. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.10.001>
- Hu, K., & Zeng, G. (2019). Placing big graph into cloud for parallel processing with a two-phase community-aware approach. *Future Generation Computer Systems*, 101, 1187–1200. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.07.014>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kudłak, R., Szocs, I., Krumay, B., & Martinuzzi, A. (2018). The future of CSR - Selected findings from a Europe-wide Delphi study. *Journal of Cleaner Production*, 183, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.119>
- Liao, T. (2018). Reverse logistics network design for product recovery and remanufacturing. *Applied Mathematical Modelling*, 60, 145–163. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.03.003>
- Lima, S. A. ., & Antony, J. (2016). Trends in Food Science & Technology Statistical process control readiness in the food industry : Development of a self-assessment tool. *Trends in Food Science & Technology*, 58, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.025>
- Linder, M., & Williander, M. (2015). Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. *Business Strategy and the Environment*, 26(2), 182–196. <https://doi.org/10.1002/bse.1906>
- Linstone, H. A., & Turoff, M. (2011). Delphi: A brief look backward and forward. *Technological Forecasting & Social Change*, 78(9), 1712–1719. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.09.011>
- Ludeke-Freund, F., Gold, S., & Bocken, N. M. . (2018). A Review and Typology of Circular Economy Business Model Patterns. *Research and Analysis*, 23(1). <https://doi.org/10.1111/jiec.12763>
- McNally, B. A., Somasundaram, A., Jairaman, A., Yamashita, M., & Prakriya, M. (2013). The C- and N-terminal STIM1 binding sites on Orai1 are required for both trapping and gating CRAC channels. *Journal of Physiology*, 591(11), 2833–2850. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.250456>
- Mendoza, J. M. F., Sharmina, M., Gallego-schmid, A., & Heyes, G. (2017). Integrating Backcasting and Eco-Design The BECE Framework. *Journal of Industrial Ecology*, 00(0), 1–19. <https://doi.org/10.1111/jiec.12590>
- Mentink, B. A. S. (2014). *Circular Business Model Innovation A Process Framework and a Tool for Business Model Innovation in a Circular Economy*. Delft University of

Technology and Leiden University.

- Micheli, G. J. L., Trucco, P., Sabri, Y., & Mancini, M. (2019). Modularization as a system life cycle management strategy: Drivers, barriers, mechanisms and impacts. *International Journal of Engineering Business Management*, *11*, 1–23. <https://doi.org/10.1177/1847979018825041>
- Mignacca, B., Locatelli, G., & Velenturf, A. (2020). Modularisation as enabler of circular economy in energy infrastructure. *Energy Policy*, *139*(February), 111371. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111371>
- Miskovic, V., Ma, X., Chou, C.-A., Fan, M., Owens, M., Sayama, H., & Gibb, B. E. (2015). Developmental changes in spontaneous electrocortical activity and network organization from early to late childhood. *NeuroImage*, *118*, 237–247. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.06.013>
- Nußholz, J. L. K. (2017). Circular Business Models : Defining a Concept and Framing an Emerging Research Field. *Sustainability*, *9*(10), 1810. <https://doi.org/10.3390/su9101810>
- Pandremenos, J., Paralikas, J., Salonitis, K., & Chryssolouris, G. (2009). Modularity concepts for the automotive industry : A critical review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, *1*, 148–152. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2008.09.012>
- Paras, M., Wang, L., Chen, Y., Curteza, A., Pal, R., & Ekwall, D. (2018). A Sustainable Application Based on Grouping Genetic Algorithm for Modularized Redesign Model in Apparel Reverse Supply Chain. *Sustainability*, *10*(9), 3013. <https://doi.org/10.3390/su10093013>
- Porter, D. F., Koh, Y. Y., Vanveller, B., Raines, R. T., & Wickens, M. (2015). Target selection by natural and redesigned PUF proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *112*(52), 15868–15873. <https://doi.org/10.1073/pnas.1508501112>
- Richardson, J. (2008). The business model : an integrative framework for strategy execution. *Strategic Change*, *144*, 133–144. <https://doi.org/10.1002/jsc.821>
- Rosa, P., Sassanelli, C., & Terzi, S. (2019). Towards Circular Business Models : A systematic literature review on classification frameworks and archetypes. *Journal of Cleaner Production*, *236*, 117696. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117696>
- Salvador, R., Barros, M. V., Luz, L. M. da, Piekarski, C. M., & de Francisco, A. C. (2020). Circular business models: Current aspects that influence implementation and unaddressed subjects. *Journal of Cleaner Production*, *250*, 119555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119555>
- Sand, J. C., Gu, P., & Watson, G. (2002). HOME: House Of Modular Enhancement— a Tool for Modular Product Redesign J. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, *10*(2). <https://doi.org/10.1106/106329302027638>
- Sariatli, F. (2017). Linear Economy versus Circular Economy : A comparative and analyzer study for Optimization of Economy for Sustainability. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, *6*(1), 31–34. <https://doi.org/10.1515/vjbsd-2017-0005>

- Schalkwyk, R. F., Reuter, M. A., Gutzmer, J., & Stelter, M. (2018). Challenges of digitalizing the circular economy: Assessment of the state-of-the-art of metallurgical carrier metal platform for lead and its associated technology elements. *Journal of Cleaner Production*, *186*, 585–601. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.111>
- Thelen, D., Acoleyen, M., Huurman, W., Thomaes, T., Brunschot, C., Edgerton, B., & Kubbinga, B. (2008). *Scaling the Circular Built Environment: Pathways for Business and Government*.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, *14*(3), 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Umeda, Y., Fukushige, S., Tonoike, K., & Kondoh, S. (2008). Product modularity for life cycle design. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, *57*(1), 13–16. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2008.03.115>
- Ünal, E., Urbinati, A., & Chiaroni, D. (2019). Managerial practices for designing circular economy business models: The case of an Italian SME in the office supply industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *30*(3), 561–589. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0061>
- UNEP. (2011). Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. In *United Nations Environment Program*.
- Webster, J., Watson, R.T., 2002. Analyzing the past to prepare the future: writing a literature review. *MIS Q.* *26* (2), 13 e 26
- Westover, L., Olearczyk, J., Hermann, U., Adeeb, S., & Mohamed, Y. (2014). Analysis of rigging assembly for lifting heavy industrial modules. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *41*(6), 512–522. <https://doi.org/10.1139/cjce-2013-0192>
- White, M. D., & Marsh, E. E. (2006). Content Analysis: A Flexible Methodology. *Library Trends*, *55*(1), 22–45. <https://doi.org/10.1353/lib.2006.0053>
- Yan, J., & Feng, C. (2014). Sustainable design-oriented product modularity combined with 6R concept: A case study of rotor laboratory bench. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *16*(1), 95–109. <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0597-3>
- Yang, M., Evans, S., Vladimirova, D., & Rana, P. (2017). Value uncaptured perspective for sustainable business model innovation. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 1794–1804. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.102>