



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO

LEONARDO MEDEIROS MARTINS

**O PAPEL DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO NA PROPOSIÇÃO DE
VALOR PARA A ECONOMIA CIRCULAR À LUZ DO TRIPÉ DA
SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO EM EMPRESAS DO SETOR DE
GESTÃO DE RESÍDUOS E RECICLAGEM**

Natal/RN

2021

LEONARDO MEDEIROS MARTINS

**O PAPEL DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO NA PROPOSIÇÃO DE
VALOR PARA A ECONOMIA CIRCULAR À LUZ DO TRIPÉ DA
SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO EM EMPRESAS DO SETOR DE
GESTÃO DE RESÍDUOS E RECICLAGEM**

Dissertação apresentada no processo avaliativo de Defesa de Dissertação como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Administração do Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, na área de gestão organizacional, na linha organizações, estratégia e tecnologia da informação.

Orientador(a): Anátalia Saraiva Martins Ramos

Natal/RN
2021

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial do Centro Ciências Sociais Aplicadas - CCSA

Martins, Leonardo Medeiros.

O papel das tecnologias da informação na proposição de valor para a economia circular à luz do tripé da sustentabilidade: um estudo em empresas do setor de gestão de resíduos e reciclagem / Leonardo Medeiros Martins. - 2021.

109f.: il.

Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Administração. Natal, RN, 2021.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Anátália Saraiva Martins Ramos.

1. Economia circular - Dissertação. 2. Tecnologia da informação - Dissertação. 3. Proposição de valor - Dissertação. 4. Tripé da sustentabilidade - Dissertação. 5. Abordagem sistêmica - Dissertação. I. Ramos, Anátália Saraiva Martins. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/Biblioteca CCSA

CDU 658:004

LEONARDO MEDEIROS MARTINS

O PAPEL DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO NA PROPOSIÇÃO DE
VALOR PARA A ECONOMIA CIRCULAR À LUZ DO TRIPÉ DA
SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO EM EMPRESAS DO SETOR DE
GESTÃO DE RESÍDUOS E RECICLAGEM

Dissertação apresentada no processo avaliativo de Defesa de Dissertação como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Administração do Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, na área de gestão organizacional, na linha organizações, estratégia e tecnologia da informação.

Natal, 30 de julho de 2021.

Prof^a. Dr^a. Anália Saraiva Martins Ramos
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Presidente da Banca Examinadora

Prof^o. Dr^o. Miguel Eduardo Moreno Anez
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Examinador Interno

Prof^a. Dr^a. Petruska de Araújo Machado
Universidade Federal de Campina Grande
Membro Externo à Instituição

Prof^a. Dr^a. Gabriela Figueiredo Dias
Universidade Federal de Pernambuco
Membro Externo à Instituição

RESUMO

A literatura sobre sustentabilidade aponta uma lacuna de estudos empíricos sobre o papel das tecnologias da informação (TI) na proposição de valor no âmbito da economia circular. Ao mesmo tempo, identifica-se uma escassez de pesquisas sobre como a abordagem sistêmica auxilia o entendimento das características da economia circular, sendo aqui representada por meio do tripé da sustentabilidade. Como base nesse contexto e tendo em vista a relevância do tema, o objetivo deste trabalho é investigar o papel das tecnologias da informação na proposição de valor de modelos de negócio inseridos na economia circular, sob uma abordagem sistêmica da sustentabilidade. Para tanto, foi feita uma pesquisa descritiva de natureza qualitativa, em duas etapas. A primeira foi uma pesquisa bibliográfica que teve como resultado o desenvolvimento de um *framework* conceitual para entendimento da economia circular sob o tripé da sustentabilidade. A segunda etapa consistiu de uma pesquisa documental por meio da coleta de 62 documentos, entre matérias e relatórios empresariais, de 21 *startups* inseridas nos setores de gestão de resíduos e reciclagem. A análise temática foi a técnica escolhida para analisar os dados bibliográficos e documentais. Como resultado, ficou evidenciado que as funções de sensoriamento, monitoramento, conectividade e processamento podem incrementar o modelo de negócio para inovar setores tradicionalmente analógicos, principalmente através das tecnologias de *internet* das coisas, inteligência artificial, computação em nuvem e *big data*. Outro achado importante é que a TI favorece uma proposição de valor pautada no uso eficiente ou substituição de recursos, a qual implica em efeito ambiental positivo. Por fim, aponta-se que é necessário construir a interação com os parceiros e participantes do negócio para apoiar e disseminar o valor do negócio da economia circular à esfera social.

Palavras-chave: Economia circular; Tecnologia da informação; Proposição de valor; Tripé da sustentabilidade; Abordagem sistêmica.

ABSTRACT

The literature about sustainability indicates a gap of empirical studies on the role of information technologies (IT) in the circular economy's value proposition. At the same time, it identifies a lack of researches about how the systemic approach supports the circular economy characteristics' understanding, been represented here by the triple bottom line. Based on this context and viewing the theme's relevance, the aim of the work is to investigate the information technologies' role in the value proposition of business models at circular economy, under a systemic approach of sustainability. Therefore, it was done a descriptive and qualitative nature research, in two steps. The first was a bibliographical research that had as result a conceptual framework to understand the circular economy over the triple bottom line. The second step consisted in a documental research through the collection of 62 documents, between news and business reports, of 21 startups inserted on waste management and recycling sectors. The thematic analysis was the chosen technic to analyze the bibliographical and documental data. As result, it was evidenced that the functions of sensing, tracking, connectivity and processing could increase the business model to innovate traditionally analogical sectors, principally through technologies such as internet of things, artificial intelligence, cloud computing and big data. Another important finding is that the IT favours a value proposition based on efficient use or substitution of resources, which implies in positive environmental effect. Lastly, it is pointed that is necessary build an interaction with the partners and business participants to support and disseminate the circular economy's business value up to the social sphere.0

Key-words: Circular economy; Information technology; Value proposition; Triple bottom line; Systemic approach.

LISTA DE ABREVIações

3Rs – Reduzir, Reusar e Reciclar.

EC – Economia Circular.

IoT – Internet das coisas (*Internet of Things*).

ONU – Organização das Nações Unidas.

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos.

TGS – Teoria Geral dos Sistemas.

TI – Tecnologia(s) da Informação.

TIC – Tecnologia(s) da Informação e Comunicação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama sistêmico da economia circular.	17
Figura 2: Elementos funcionais da gestão de resíduos sólidos.	18
Figura 3: Categorias híbridas da indústria 4.0 circular e economia circular digital.	26
Figura 4: Sistema aberto conceitual com <i>feedback</i>	39
Figura 5: Tripé da sustentabilidade em diagrama de Venn.	40
Figura 6: Modelo esquemático para sustentabilidade em sistemas adaptativos complexos.	41
Figura 7: Dimensões da sustentabilidade com retardamentos (barras) e sinais de influência.	41
Figura 8: <i>Framework</i> conceitual.	59
Figura 9: Distribuição geográfica das empresas.	65
Figura 10: <i>Framework</i> final do trabalho.	79
Figura 11: <i>Framework</i> final temático.	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Definições sobre economia circular.	15
Quadro 2: Tecnologias da indústria 4.0 com aplicações para a economia circular.	27
Quadro 3: Resumo das tecnologias emergentes predominantes na economia circular.	28
Quadro 4: Descritivo dos elementos da proposição de valor.	33
Quadro 5: Bases do modelo de negócio sustentável.	35
Quadro 6: Descritivo dos elementos da proposição de valor circular.	36
Quadro 7: Protocolo de buscas.	45
Quadro 8: Geração de códigos iniciais na literatura para artigos da busca I. ...	47
Quadro 9: Geração de códigos iniciais na literatura para artigos da busca II. ...	48
Quadro 10: Geração de códigos iniciais na literatura para artigos da busca III.	50
Quadro 11: Geração de códigos iniciais na literatura para artigos da busca IV.	52
Quadro 12: Temas identificados entre os códigos iniciais.	54
Quadro 13: Definição dos códigos iniciais.	55
Quadro 14: Definições dos temas e temas principais.	57
Quadro 15: Termos de busca na plataforma Startuptracker.	61
Quadro 16: Etapas de filtragem.	62
Quadro 17: Caracterização dos objetos da pesquisa.	63
Quadro 18: Tipos de documentos por empresa.	66
Quadro 19: Códigos que surgiram ou não apareceram na codificação.	69
Quadro 20: Encaminhamento da revisão dos novos códigos.	71
Quadro 21: <i>Corpus</i> definitivo de códigos, temas e temas principais.	75
Quadro 22: Tipos de relações entre os códigos.	80
Quadro 23: Listagem das relações entre códigos do <i>framework</i> final.	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 ECONOMIA CIRCULAR	15
2.1.1 Gestão de resíduos e reciclagem	17
2.1.2 Escopo e barreiras da economia circular	19
2.1.3 Pesquisa acadêmica em economia circular	22
2.2 TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO	24
2.2.1 Indústria 4.0 e tecnologias da informação emergentes	25
2.2.2 Tecnologias da indústria 4.0 e economia circular	25
2.3 MODELO DE NEGÓCIO CIRCULAR.....	30
2.3.1 Modelo organizacional	31
2.3.2 Modelo de negócio e proposição de valor	32
2.3.3 Modelo de negócio sustentável e proposição de valor circular	34
2.4 ABORDAGEM SISTÊMICA DA SUSTENTABILIDADE.....	37
2.4.1 Teoria Geral dos Sistemas	38
2.4.2 Tripé da sustentabilidade.....	39
2.4.3 Aspectos sistêmicos e economia circular.....	42
2.5 DESENVOLVENDO <i>FRAMEWORK</i> CONCEITUAL.....	43
2.5.1 Revisão sistematizada da literatura	43
2.5.2 Gerando códigos iniciais da literatura	47
2.5.3 Procurando por temas da literatura.....	53
2.5.4 Definindo temas da literatura	55
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	60
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	60
3.2 OBJETOS DA PESQUISA	60
3.3 INSTRUMENTOS DE PESQUISA E COLETA DE DADOS	65
3.4 ANÁLISE DOS DADOS	67
3.4.1 Familiarização com os dados.....	68

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	69
4.1 CODIFICAÇÃO	69
4.1.1 Codificação nos dados.....	69
4.1.2 Revisando, definindo e nomeando os temas	70
4.1.3 <i>Framework</i> final	78
4.1.4 Produzindo o relatório.....	83
4.2 LIGAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO NA PROPOSIÇÃO DE VALOR	83
4.2.1 Criação de valor.....	83
4.2.2 Entrega de valor	85
4.2.3 Captura de valor	87
4.3 PROPOSIÇÃO DE VALOR E OS SISTEMAS ECONÔMICO, AMBIENTAL E SOCIAL	88
4.3.1 Sistema econômico	88
4.3.2 Sistema ambiental	89
4.3.3 Sistema social	90
4.4 INFLUÊNCIA SISTÊMICA DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR	91
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
5.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	94
5.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	95
5.3 POSSIBILIDADES DE ESTUDOS FUTUROS	96
REFERÊNCIAS	98
APÊNDICE A.....	106
APÊNDICE B.....	107
ANEXO I.....	110

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O desenvolvimento econômico através da impulsão do consumo trouxe e traz consequências socioambientais. Conforme a Fundação Ellen MacArthur (2013) o modelo de industrialização vigente (oriundo do início da revolução industrial) segue um modelo linear de consumo dos recursos, representado pelo padrão de “adquirir, fazer e descartar”. Justamente este descarte que ocasiona problemas ligados à poluição ambiental (ar, água e solo), que retornam à sociedade sob a forma de risco de saúde por contaminação de componentes químicos ou metálicos e alterações climáticas (PNUMA, 2020; ART, 1998). Além disso, priorizar o descarte dos produtos após utilizá-los acomete impactos econômicos ligados ao aumento de preço dos recursos, pois isso exige procurar continuamente novas fontes de extração de matérias primas, em geral mais custosas (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2013).

Na mão do consumo extrativista, estima-se que a população mundial atinja 9,6 bilhões de habitantes em 2050, algo que exigiria quase três planetas terras para sustentar as pessoas do mundo com o atual modelo produtivo (ONU, 2020b). Semelhantemente, a pegada de recursos naturais no ano de 2017 foi de 85,9 bilhões de toneladas métricas, um crescimento de aproximadamente 17,34% em relação à 2010 (ONU, 2020a). O termo desenvolvimento sustentável surgiu sob este contexto, significando aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras em atender suas próprias necessidades (CMMAD, 1997).

Mais recentemente, em 2015, a ONU lançou a Agenda 2030, um esforço para convergir ações e promover investimentos em desenvolvimento sustentável, baseada em 17 metas de desenvolvimento sustentável, as quais reúnem 169 alvos associados, todos a serem atingidos até 2030 (ONU, 2015). Dentre estes objetivos, o 12º representa consumo e produção responsáveis, o qual preza pelo uso consciente de produtos, sem continuar com a destruição do meio ambiente (ONU, 2020b).

O consumo responsável, amplamente relacionado à economia circular (EC), pode abarcar diversas modalidades de utilização do produto, desde

maneiras de prolongamento do ciclo de vida do produto (por compartilhamento, *design* mais durável/eficiente, entre outros), ações de reparação e remanufatura, até a reciclagem propriamente dita (ELLEN MACARTHUR, 2013). Nesse sentido, a prática da reciclagem é uma alternativa para contrapor os problemas do modelo econômico linear, pois reinsere o produto final no início da mesma ou de outras cadeias, sendo que na condição de matéria prima.

Apesar deste potencial, sua implementação total ainda é um desafio. Na União Europeia a taxa de reciclagem para resíduos sólidos municipais (incluindo compostagem) foi de 46,4% em 2017 (AEA, 2019). Nos Estados Unidos a taxa foi de 32,1% em 2018 para os mesmos tipos de resíduos (EPA, 2018). Em países asiáticos como Singapura e Japão, a taxa varia de 59% (NEA, 2019) a 20% (STATISTA, 2020), respectivamente. No caso do Brasil, um estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada aponta que apenas 13% dos resíduos sólidos vão para a reciclagem (IPEA, 2017).

Desse modo, a título de definição de escopo, a economia circular será entendida aqui, no âmbito da pesquisa, através dos setores de reciclagem e gestão de resíduos, em razão da ligação com o tema da sustentabilidade e das informações já expostas.

Sob outro aspecto, com o advento das tecnologias de informação e comunicação (TIC), no final do século XX, novas soluções foram surgindo junto às possibilidades de melhoria no sistema produtivo. Esta é denominada a quarta revolução industrial, na qual a indústria (referida também como indústria 4.0) será integrada à digitalização e o processamento de dados (UNIDO, 2017). Logo, o processo de inovação tecnológica continua ocorrendo e torna-se importante saber utilizar as novas tecnologias em favor das problemáticas atuais.

Em relação à indústria 4.0, Jabbour et al. (2018) apontam que existe uma lacuna no conhecimento de como organizações podem construir um caminho para o gerenciamento de operações sustentáveis e conquistar as estratégias da EC, tomando em consideração as atuais tendências tecnológicas dessa indústria. Diversas tecnologias são destacadas, das quais pode-se mencionar *internet of things* (IoT), *cloud computing*, RFID e sensoriamento, Wi-Fi, geolocalização, robótica, inteligência artificial, sistemas

de informação, comunicação máquina-máquina, entre outras (LACY, 2017; JABBOUR et al. 2018).

De modo geral, a maioria dos artigos sobre economia circular são de ordem conceitual, buscando definir, revisar e caracterizar este conceito (KHITOUS et al., 2020). Alinhado a isto, diversos trabalhos sugerem uma lacuna acerca do modo com o qual as tecnologias da informação podem, na prática, facilitar a inserção na economia circular (BRESSANELLI et al., 2018; JABBOUR et al., 2018; RANTA, AARIKKA-STENROOS & VÄISÄNEN, 2021).

Tendo por base estas considerações sobre o estudo das tecnologias da informação no contexto da economia circular, a presente pesquisa debruça-se acerca do problema da falta de estudos empíricos sobre o papel das tecnologias da informação no contexto da economia circular.

Ainda assim, este problema aparenta ser um tanto amplo. Desse modo, com o intuito de estreitar o escopo da pesquisa para uma abordagem empírica, optou-se por considerar a ótica da proposição de valor do negócio e do tripé da sustentabilidade enquanto referenciais da influência das tecnologias da informação e do grau de economia circular, respectivamente. Em especial, a condição da proposição de valor é tratada de modo mais específico através do processo em que um negócio transmite um benefício para os clientes e capta um retorno financeiro em contrapartida (OSTERWALDER, 2004). Já a sustentabilidade pode ser especificada através do *triple bottom line* ou tripé da sustentabilidade, que é a inter-relação de 3 áreas ou sistemas – econômico, ambiental e social – indispensáveis para a promoção do desenvolvimento sustentável (ELKINGTON, 1997).

Portanto, este trabalho pretende responder a seguinte pergunta de partida: qual o papel das tecnologias da informação na proposição de valor alinhada ao tripé da sustentabilidade?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Investigar o papel das tecnologias da informação na proposição de valor de modelos de negócio inseridos na economia circular, sob uma abordagem sistêmica da sustentabilidade.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Descrever a ligação entre a tecnologia da informação e os processos de criação, entrega e captura de valor.
- b) Associar a proposição de valor aos sistemas econômico, ambiental e social do tripé da sustentabilidade.
- c) Analisar a influência sistêmica das tecnologias da informação para a viabilização da economia circular.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seção do referencial teórico visa expor os conteúdos que explicitam as áreas de conhecimento que o trabalho está fundamentado. Há especial foco na parte da economia circular por ser conceito central neste trabalho, a qual além de ter sua subseção específica, também continuará sendo mencionada e referenciada em outras subseções deste referencial. Ao final, é descrito o processo de revisão da literatura para elaboração do *framework* conceitual, uma ferramenta para auxiliar os procedimentos metodológicos.

2.1 ECONOMIA CIRCULAR

A economia circular (EC) é um conceito relativamente recente que reflete um modelo ou paradigma econômico que preza pela reinserção dos produtos e seus resíduos na cadeia produtiva, com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável e seus benefícios correlacionados. Por interagir com diferentes áreas de conhecimento (por exemplo, engenharia, *design*, economia, negócios, ecologia, estudo sociais, entre outros), há uma diversidade de definições sobre este conceito.

Com o intuito de organizar as múltiplas visões sobre economia circular, o Quadro 1 expõe as principais definições desse conceito e seus respectivos autores ou entidades.

Quadro 1: Definições sobre economia circular.

Definição	Autoria
"[...] um sistema industrial que é restaurativo ou regenerativo por intenção e <i>design</i> . Ela substitui o conceito de "fim de vida" com restauração, altera para o uso de energia renovável, elimina o uso de químicos tóxicos, que prejudicam o reuso, e busca a eliminação de resíduos através do <i>design</i> superior dos materiais, produtos, sistemas, e, com isso, modelos de negócios".	Fundação Ellen MacArthur (2013)
"A abordagem de nível sistêmico para o desenvolvimento econômico e mudança de paradigma do conceito do modelo tradicional de extração econômico linear de extrair-produzir-consumir-descartar-esgotar (<i>epcd</i> ²) para alcançar um elevado escalão de zero desperdício por meio da conservação [e reuso] de recursos [...]".	Gosh (2020)
"A economia circular é um sistema que representa uma mudança de paradigma no modo em que a humanidade está inter-relacionada com a natureza, e objetiva prevenir o	Pietro-Sandoval, Jaca & Ormazabal (2017)

esgotamento de recursos, fechar os <i>loops</i> de energia e materiais e facilitar o desenvolvimento sustentável através de sua implementação nos níveis <i>micro</i> (empresas e consumidores), <i>meso</i> (agentes econômicos integrados em simbiose) e <i>macro</i> (cidades, regiões e governos). Atingir este modelo circular requer inovações ambientais cíclicas e regenerativas na maneira em que a sociedade legisla, produz e consome.”	
--	--

Fonte: Elaboração própria (2021).

Das definições apresentadas, a mais empregada em trabalhos científicos, segundo Kircherr, Reike e Hekkert (2017), é a da fundação Ellen MacArthur e, por esta razão, será a adotada para o desenvolvimento deste trabalho.

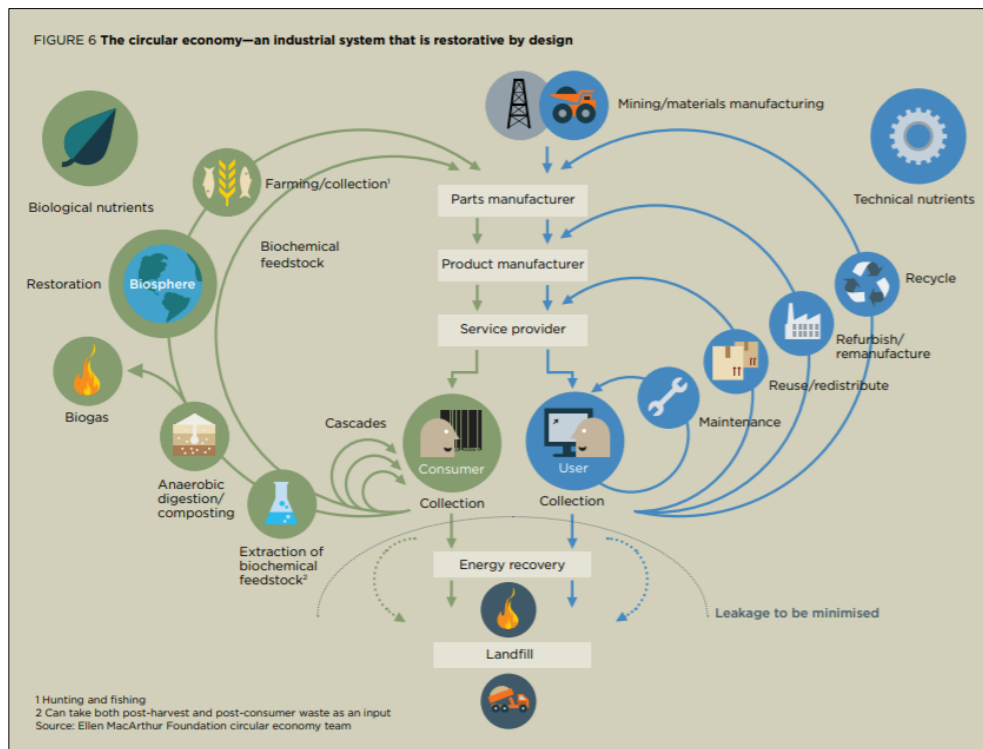
Mas o que se busca com tais definições é explicitar os aspectos gerais da EC. Fica evidente que é uma prática que busca manter os recursos na cadeia produtiva ao passo que diminui a extração de matérias-primas, semelhante à ideia dos 3Rs (reduzir, reusar e reciclar). A propósito, alguns poucos trabalhos chegam a considerar a noção de 4Rs, relativo aos 3Rs mais a ‘recuperação’ (KIRCHERR, REIKE & HEKKERT, 2017).

Outro elemento é a preservação do meio ambiente, com a ideia de eliminação de poluentes, de modo a integrar e proteger a natureza para o benefício do desenvolvimento – o que por sua remete ao conceito do desenvolvimento sustentável.

Por fim, um aspecto para evidenciar é a perspectiva sistêmica. Há parte específica neste referencial teórico para comentar a visão sistêmica, mas de modo introdutório a partir das definições de economia circular, pode-se perceber que este modelo produtivo necessita da interação de múltiplos atores (empresas, consumidores, governos, entre outros) e compreende vários estágios ou processos produtivos e ecológicos.

Em resumo a estes aspectos, a Figura 1 apresenta o diagrama sistêmico da economia circular, o qual demonstra a interação entre os ciclos técnico (processo produtivo) e natural (processo ecológico), assim como as etapas desde a criação de um produto até o final do seu ciclo de vida. Ressalta-se que os movimentos de *feedback*, indo da parte inferior ao topo no diagrama, são os *loops* (ciclos), comumente expostos nas definições sobre economia circular.

Figura 1: Diagrama sistêmico da economia circular.



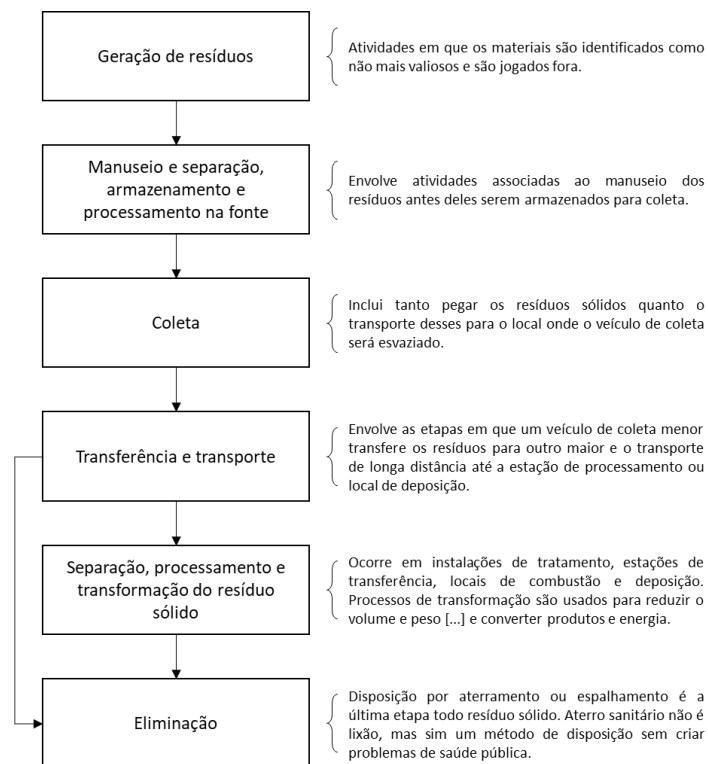
Fonte: Fundação Ellen MacArthur (2013).

2.1.1 Gestão de resíduos e reciclagem

A urbanização é um efeito proporcional ao desenvolvimento industrial e econômico humano. De 1950 para 2018, a população mundial que vive em cidades passou de 30% para aproximadamente 55%, o que representa 4 bilhões e 220 milhões de habitantes (DESA, 2019). A relação destes dados com a economia circular é que as populações urbanas são fontes de maior consumo de produtos industrializados, o que culmina na geração dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Resíduos sólidos podem ser entendidos enquanto aqueles “nos estados sólido ou semissólido, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição” (ABNT, 2004, p. 1), sendo os RSU um tipo de resíduo sólido, mais específico à geração de resíduos domésticos, comerciais e da limpeza pública, representado pelos tipos de resíduos da prática de coleta seletiva: metais, papéis, papelões, plásticos, vidros e matéria orgânica (SAIANI, DOURADO & TONETO JÚNIOR, 2014).

Para controlar a geração de resíduos urbanos, existem uma série de práticas e ações para coletar, tratar e destinar os resíduos. Essas práticas podem ser compreendidas enquanto o gerenciamento ou gestão de resíduos. Para Kreith e Tchobanoglous (2002), a gestão de resíduos possui 6 elementos funcionais, que evidenciam as etapas do processo mais genérico de lidar com os resíduos sólidos urbanos, conforme pode ser observado na Figura 2:

Figura 2: Elementos funcionais da gestão de resíduos sólidos.



Fonte: Adaptado de Kreith e Tchobanoglous (2002).

Os autores ainda mencionam que quando a gestão de resíduos é imbuída de técnicas, tecnologias e programas de gerenciamento para atingir objetivos específicos, tais quais redução da fonte de resíduos, reciclagem e compostagem, combustão (do resíduo à energia) e aterros necessários, esta pode ser denominada de gestão de resíduos integrada (KREITH & TCHOBANOGLIOUS, 2002).

A reciclagem é o processo de “coletar e reprocessar um recurso de modo que ele possa ser transformado em novos produtos” (ART, 1998, p. 451). Esta prática oportuniza preservação de recursos finitos ou muito escassos, diminui a necessidade de minerar matérias-primas, reduz a

quantidade de energia consumida e pode ainda melhorar a capacidade de aterros e o processo de incineração ao remover a proporção de resíduos recicláveis dos não recicláveis – o que, por fim, reflete em menor impacto ao meio ambiente (KREITH & TCHOBANOGLOUS, 2002). No entanto, há de se observar que o processo da reciclagem possui relação com a gestão de resíduos, pois, sem a devida coleta, transporte e tratamento dos resíduos, os recursos recicláveis podem acabar em aterros ou, pior, no meio ambiente.

No âmbito desta pesquisa optou-se por incluir reciclagem e gestão de resíduos enquanto referencial de economia circular tendo em vista que por mais que o ciclo de vida de um produto seja estendido, ou que sejam criados processos para criar materiais com menos insumos, ainda assim chegará um momento que manutenções e remanufaturas não conseguirão mais manter o produto em estado de uso e ele terá que ser descartado, isto é, virará resíduo. Logo, é possível perceber que para fechar de fato o *looping*, da economia linear à circular, os resíduos têm que ser devidamente coletados, separados armazenados e encaminhados para reciclagem.

2.1.2 Escopo e barreiras da economia circular

A economia circular vem atraindo foco de estudo em virtude de seu potencial para melhorar a atual estrutura social, econômica e ambiental. Essa atenção pode ser melhor compreendida quando se é analisado o escopo da economia circular, ou seus potenciais e fatores desencadeantes.

Dentro dessa ótica de escopo, Winans, Kendal e Deng (2017) observaram através de revisão da literatura que a economia circular pode ser aplicada em 3 categorias distintas, sendo (1) instrumentos e abordagens de políticas, (2) cadeias de valores, fluxo de materiais, e produtos, e (3) inovação tecnológica, organizacional e social. A categoria ligada à política representa as iniciativas e influências governamentais para regular a economia, em especial os autores evidenciam o processo de criação dos ecoparques industriais e suas respectivas redes de interação. Já na categoria das cadeias de valores e fluxo de materiais, destaca-se os principais elementos que recebem prioridade ou mais atenção para o fechamento do *looping* produtivo, sendo estes madeira, papel, plásticos, metais, fósforos e outros químicos, produtos e resíduos da

agricultura, água e terra. Por fim, a categoria de inovações evidencia que muitas das etapas para alcançar a circularidade dependem de desenvolvimentos nos processos biológicos e técnicos (engenharia, por exemplo), mas também de apoio organizacional devido à falta de *stakeholders* para apoiar as iniciativas da economia circular (WINANS, KENDAL & DENG, 2017). Esta última categoria confunde-se um pouco com as próprias barreiras da economia circular (como será exposto adiante), mas, tomando um olhar mais analítico, pode-se perceber que isso ocorre em razão desta ser a área crítica, isto é, onde residem os problemas e ao mesmo tempo as soluções. Os próprios autores expressam o trabalho de organizações como a Fundação Ellen MacArthur e McKinsey & Company ao criar mecanismos para inovação técnica e social através de seus estudos, pesquisa e relatórios.

Com relação a possíveis fatores desencadeantes da economia circular, Govidan e Hasanagic (2018) examinaram 13 condutores (alinhados a 5 grupos) para entender os fatores de implementação da economia circular em uma cadeia de suprimentos. Dentro do agrupamento de política e economia, os autores levantaram os seguintes condutores: permanecer dentro das leis e políticas de gerenciamento de resíduo; e crescimento econômico pela implementação da EC na cadeia de suprimentos. Já para o 2º agrupamento, de saúde, examinou-se os condutores de: saúde pública paga preços altos por consumo excessivo de recursos e energia; e saúde animal paga preços altos por consumo excessivo de recursos e energia. Na sequência, o 3º agrupamento sobre proteção ambiental traz os condutores de: devido à mudança climática / aquecimento global é importante implementar a EC na cadeia de suprimentos; agricultura moderna rapidamente melhora a produtividade, mas paga preços altos por consumo excessivo de recursos e energia; demanda por energia renovável está aumentando e, portanto, é importante proteger o ambiente. Quanto à sociedade, o 4º agrupamento, há os seguintes condutores: para proteger o crescimento populacional futuro a implementação da EC é importante; urbanização está aumentando e o ambiente tem sido negativamente afetado por esse aumento; potencial de criação de empregos na cadeia produtiva; e preocupação ambiental dos consumidores representa pressão na indústria para desenvolver a EC na cadeia de suprimentos. Por fim, o 5º agrupamento sobre desenvolvimento do

produto, apresenta os condutores de: melhorar a eficiência de materiais e uso de energia na cadeia produtiva; e aumentar o valor dos produtos pelo aumento da qualidade (GOVIDAN & HASANAGIC, 2018).

Entretanto, se a economia circular possui tal escopo, por que não é o modelo produtivo mais empregado na economia global? À guisa de seus potenciais, é igualmente pertinente atentar para as possíveis barreiras, os dificultadores da implantação, que limitam a prática do modelo circular.

De início, existem até limitações conceituais. Korhonen, Honkasalo e Seppälä (2018), apresentam 6 limitações do conceito de economia circular, sendo elas: (1) limites termodinâmicos, em razão de que sistemas cíclicos vão consumir recursos e gerar resíduos ou emissões (algo semelhante à impossibilidade da conservação total de energia em um sistema); (2) limites da fronteira do sistema, relacionado à variável espacial quanto à situação de integrar o fluxo de recursos físicos e energia através de fronteiras organizacionais, administrativas e geográficas, além disso, quanto à variável temporal, os impactos a curto prazo do fluxo de recursos podem impactar a longo prazo também; (3) limites postos pela escala física da economia, em que consistem os efeitos ricochete e bumerangue; (4) limites postos pela dependência de trajeto e aprisionamento, em que as primeiras tecnologias retêm a posição de mercado apesar da ineficiência; (5) limites de governança e gerenciamento, relativos à articulação intraorganizacional, intrasetorial, interorganizacional e intersetorial; e (6) limites de definições sociais e culturais, os quais refletem como o conceito de resíduo (ou popularmente, lixo) é lidado socialmente.

Junto a estas limitações conceituais, a implementação das práticas da economia circular também enfrenta entraves. Ritzén e Sandström (2017) resumizam as barreiras mais frequentes na literatura, relatando 9 barreiras adstritas a 5 áreas específicas, respectivamente: financeira, estrutural, operacional, atitudinal e tecnológica. Para a primeira área o estudo levantou as barreiras de mensurar os benefícios financeiros da economia circular e a lucratividade financeira. Quanto à área estrutural, são barreiras a troca de informações faltante e a responsabilidade de distribuição incerta. A área operacional apresenta uma barreira, acerca do gerenciamento da infraestrutura ou cadeia produtiva, possivelmente ligada à complexificação decorrente das

práticas da EC. Em seguida, a área atitudinal apresenta as barreiras de percepção da sustentabilidade e aversão ao risco. Por último, a área tecnológica enfrenta desafios em relação ao *design* do produto e a integração dentro dos processos de produção (RITZÉN & SANDSTRÖM, 2017).

2.1.3 Pesquisa acadêmica em economia circular

O conceito de economia circular é relativamente recente, datando da década de 1990, mas sua pesquisa ganhou maior relevância acadêmica nos últimos anos. Em seu desenvolvimento, Webster (2016) aborda que o conceito genérico da EC foi desenvolvido e refinado pelas seguintes escolas de pensamento: *design* restaurativo, economia de performance, *cradle to cradle* (berço a berço em tradução literal), ecologia industrial, biomimetismo, economia azul e permacultura. No que diz respeito à emergência acadêmica, 90% dos artigos publicados em periódicos internacionais datam de 2015 em diante¹.

Essa emergência reflete um processo de que a maioria dos artigos da economia circular são de cunho conceitual, buscando definir, revisar, e caracterizar este campo (KHITOUS et al., 2020). Se por um lado isto representa um reforço na evolução teórica da economia circular, por outro significa que muitos dos fenômenos desta área não possuem estudos de caso ou empíricos.

No caso das inovações e tecnologias da informação (tema central deste trabalho), é tratado a possibilidade destes recursos em dinamizar a implementação da economia circular. Nesse sentido, o trabalho de Khitous et al. (2020, p.18), objetivando traçar temas emergentes e agenda de pesquisa futura, relacionou 8 tendências de pesquisas na economia circular, das quais uma é sobre “Habilitar a economia circular através de tecnologias de *internet*”, cujos tópicos envolvem tecnologias como *big data* e *internet of things* (IoT) e apresenta uma direção futura de pesquisa para “Como tecnologias (digitais) inteligentes habilitam a transição para a economia circular?”. Esse trabalho sintetizou as publicações de diversos outros artigos que evidenciaram o papel

¹ Pesquisa feita na *Web of science* em: 26 jun. 2021. V. Anexo I.

que as tecnologias da informação poderiam representar para o desenvolvimento da economia circular, mas, novamente, com predomínio dos métodos teóricos ou conceituais.

Em razão disso, diversos autores corroboram com a visão de que as tecnologias podem sim contribuir com a economia circular, mas são necessários mais estudos práticos para compreender o modo como essa contribuição ocorre. Desse modo, Bressanelli et al. (2018, p. 216) comentam que há “pouca atenção em como as tecnologias da informação e comunicação podem ser usadas para superar os desafios da economia circular”. Antikainen, Uusitalo e Kivikytö-Reponen (2018) também reforçam que a digitalização da produção é um fator importante na CE, mas que ainda há de se pesquisar mais sobre de que modo tais tecnologias otimizam a circularidade. E Jabbour et al. (2018) ainda comentam que:

“certamente pode ser argumentado que as tecnologias da indústria 4.0 têm a capacidade de calçar o caminho para os princípios da economia circular. Entretanto, devido à emergência bastante recente dessas ideias, a relação entre economia circular e tecnologias da indústria 4.0 não foi amplamente explorado na literatura”. (JABBOUR et al., 2018, p. 2; tradução nossa).

De forma mais recente, Ranta, Aarikka-Stenroos e Väisänen (2021), trazem um olhar semelhante aos dos autores anteriores ao mencionar que:

“Entretanto, a pesquisa existente sobre implementação de tecnologias digitais e inovações relacionadas de modelos de negócios para estabelecer a economia circular em empresas continua conceitual e falta evidência empírica” (RANTA, AARIKKA-STENROOS & VÄISÄNEN, 2021, p. 3; tradução nossa).

Em virtude deste panorama acadêmico da economia circular, a presente pesquisa pretende adotar um modelo mais empírico de obtenção dos dados para atender as lacunas evidenciadas nas citações acima, as quais igualmente remetem à problemática e objetivos do trabalho.

2.2 TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO

A sistemática para armazenar e gerenciar informações sempre existiu nas sociedades. Entretanto, a partir do desenvolvimento da eletrônica e das redes de dados (especialmente a *internet*), foi possível disseminar computadores mais práticos e integração com servidores para as empresas e usuários de modo geral. Nesse sentido, Bouwman et al. (2005) acrescentam que a convergência da telecomunicação e a tecnologia de computador elevou o que se denomina por tecnologias da informação e comunicação (TIC).

Com relação às organizações, Maier (2007) aborda que a maior circulação de dados e informações também favorece a permeabilidade do conhecimento, útil para a aprendizagem organizacional, tomada de decisão e veiculação de estratégias, isto do ponto de vista da gestão do conhecimento. Tal permeabilidade esclarece a difusão dos sistemas de informações para as práticas gerenciais e ressalta o papel das tecnologias da informação na construção do sistema econômico para a sociedade (MAIER, 2007).

Ainda, a TI insere-se no contexto organizacional a partir de um modelo de difusão de 4 fases, especificamente a adoção, implementação, uso e efeitos. Nas fases de adoção e implementação, a organização ainda está mais concentrada na escolha e instalação da tecnologia, do que propriamente colhendo os benefícios da TI. Enquanto que nas fases de uso e efeitos, a organização já está funcionando em conformidade à TI e desfrutando de seus benefícios, respectivamente (BOUWMAN et al., 2005).

No âmbito deste trabalho as organizações analisadas (objetos do estudo) estão, a princípio, já em fase de uso. Entretanto, é importante também evidenciar que será analisado dessas empresas não o contexto da TI para o ambiente interno das organizações (seus processos e estrutura), mas sim para o ambiente externo (*stakeholders* e o mercado).

Outra ressalva importante é que neste trabalho, quando forem feitas referências às tecnologias, poderão ser utilizadas diversas denominações além de tecnologias da informação e comunicação (TIC), como “tecnologias” ou “tecnologias emergentes” e, talvez com maior frequência, “tecnologias da informação” ou “TI”. Mas, subentende-se que todas estas denominações dizem

respeito às tecnologias da informação e comunicação emergentes, a ser explicitado melhor no próximo item.

2.2.1 Indústria 4.0 e tecnologias da informação emergentes

Dentro do estudo das tecnologias, a inovação é um fator que não pode ser descartado. O próprio surgimento, e aplicação, das tecnologias da informação é um processo contínuo do desenvolvimento de suas predecessoras. Na inovação, o termo emergência representa a propriedade do novo, de um fenômeno que apresenta efeitos, mas está em fase inicial em relação ao seu campo.

No contexto da emergência da TI, se sobressai o advento da indústria 4.0 em razão das novas funcionalidades tecnológicas que este paradigma oportuniza aos negócios. A denominação de indústria 4.0 é uma alusão à quarta revolução industrial, no sentido de que se as revoluções anteriores ocorreram, respectivamente, devido ao desenvolvimento da mecanização (século XVIII), compostos sintéticos e eletricidade (século XIX), e eletrônica (século XX) (SANDRONI, 2001), a quarta seria decorrente da integração da indústria com a digitalização e processamento de dados (UNIDO, 2017).

Aceto, Persico e Pescapé (2019) abordam que o conceito de indústria 4.0 tem origens e pode ser visto enquanto um comprometimento governamental para progredir, guiar e desenvolver propriamente um conjunto de tecnologias, bem como suas estruturas legais e culturais necessárias para colher o seu pleno potencial.

2.2.2 Tecnologias da indústria 4.0 e economia circular

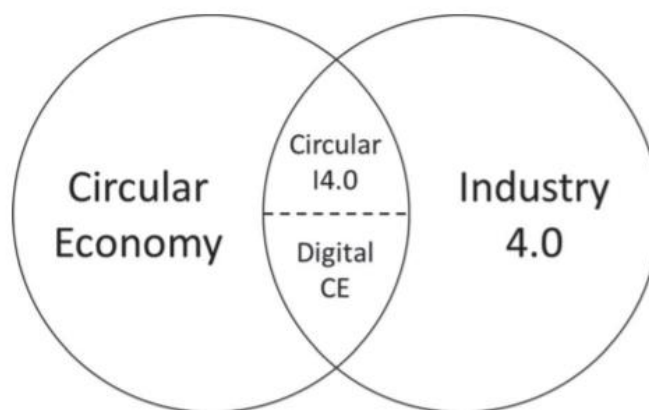
A interação entre as tecnologias da informação e o desenvolvimento sustentável não é algo novo ou originado pela economia circular. Murugesan (2008) já abordava as propriedades da TI verde ou TI sustentável, quando a tecnologia da informação consegue melhorar o desempenho de um negócio a ponto de também reduzir os impactos que a atividade deste negócio gera no meio ambiente, ou simplesmente reduzir os impactos ambientais da própria TI (consumo energético, por exemplo). Mais precisamente o autor descreve que a

“TI verde é o estudo e prática de modelar, manufaturar, usar e dispor de computadores, servidores, e subsistemas associados, eficiente e efetivamente com mínimo ou sem impacto no meio ambiente” (MURUGESAN, 2008, p. 25 e 26).

Logo, a perspectiva do uso de tecnologias da informação para negócios alinhados com o paradigma da economia circular, acaba por estabelecer relação com o conceito da TI verde. Ainda assim, a economia circular apresenta claros paralelos com o processo industrial, ao passo que intenta adequar os atuais meios de extração, produção, distribuição e consumo à lógica do desenvolvimento sustentável. Por isso os benefícios que conduziram a industrialização à então indústria 4.0 também transferem seus potenciais para a economia circular.

Dessa maneira, Rosa et al. (2019) tratam das categorias híbridas entre essas áreas econômicas, cuja interseção produz uma indústria 4.0 circular ou a economia circular digital. Ou seja, de um lado haveria os setores da manufatura conseguindo aplicar princípios da logística reversa e utilizar materiais reciclados ou reutilizados de modo estratégico ao negócio em virtude de benefícios da TI, e de outro lado poderia haver certas soluções digitais que conseguiriam reduzir ou eliminar o impacto ambiental de alguma atividade humana.

Figura 3: Categorias híbridas da indústria 4.0 circular e economia circular digital.



Fonte: Rosa et al. (2019).

Dentro dessa interseção da economia circular com a indústria 4.0, existe uma diversidade de tecnologias emergentes, as quais são expostas em tantos

outros artigos acadêmicos. No intuito de sumarizar as tecnologias e seus respectivos autores, o Quadro 2 apresenta a relação destas.

Quadro 2: Tecnologias da indústria 4.0 com aplicações para a economia circular.

Tecnologia(s)²	Trabalhos que mencionam a tecnologia
<i>Internet of Things (IoT)</i>	Pagoropoulos, Pigozzo e McAlloone (2017); Aceto, Persico e Pescapé (2019); Parida, Sjödin & Reim (2019); Jabbour et al. (2018); Rosa et al. (2019).
<i>Radio frequency identification (RFID)</i>	Pagoropoulos, Pigozzo e McAlloone (2017).
<i>Relational Database Management Systems (RDBMS)</i>	Pagoropoulos, Pigozzo e McAlloone (2017).
<i>Product Lifecycle Management (PLM) systems</i>	Pagoropoulos, Pigozzo e McAlloone (2017).
<i>Artificial Intelligence</i>	Pagoropoulos, Pigozzo e McAlloone (2017); Aceto, Persico e Pescapé (2019); Parida, Sjödin & Reim (2019).
<i>Big data / Big data analytics / Analytics</i>	Pagoropoulos, Pigozzo e McAlloone (2017); Aceto, Persico e Pescapé (2019); Parida, Sjödin & Reim (2019); Rosa et al. (2019).
<i>Machine learning</i>	Pagoropoulos, Pigozzo e McAlloone (2017).
<i>Internet</i>	Aceto, Persico e Pescapé (2019)
<i>Open source software</i>	Aceto, Persico e Pescapé (2019)
<i>Cloud / Cloud computing / Cloud manufacturing</i>	Aceto, Persico e Pescapé (2019); Parida, Sjödin & Reim (2019); Jabbour et al. (2018).
<i>Blockchain</i>	Aceto, Persico e Pescapé (2019)
<i>Broadband wireless access</i>	Aceto, Persico e Pescapé (2019)
<i>Fog computing</i>	Aceto, Persico e Pescapé (2019)
<i>Human-computer interaction</i>	Aceto, Persico e Pescapé (2019)
<i>Robotics / Automation</i>	Aceto, Persico e Pescapé (2019); Parida, Sjödin & Reim (2019).
<i>Remote monitoring</i>	Parida, Sjödin & Reim (2019).
<i>Predictive maintenance</i>	Parida, Sjödin & Reim (2019).
<i>Smart contracts</i>	Parida, Sjödin & Reim (2019).
<i>Smart connected products</i>	Parida, Sjödin & Reim (2019).
<i>Cyber-physical systems</i>	Jabbour et al. (2018); Rosa et al. (2019).
<i>Additive manufacturing</i>	Jabbour et al. (2018); Rosa et al. (2019).
<i>Simulation</i>	Rosa et al. (2019).

Fonte: Elaboração própria (2021).

Com base no Quadro 2, é possível perceber o predomínio das tecnologias de *internet* das coisas, inteligência artificial, *big data* e computação em nuvem, a partir da menção por mais autores. Por isso, na sequência, será dado mais ênfase a estas tecnologias. Tal predominância pode ser explicada pelas próprias características das tecnologias, no sentido do potencial ou das relações que possuem entre si (interação). Sobre o potencial, Aceto, Persico e Pescapé (2019) já sinalizavam que a formação da indústria 4.0 é altamente

² Nesta parte optou-se pela nomenclatura em Inglês, preservando a menção original no idioma dos autores.

dependente do paradigma da *internet* das coisas. Quanto à interação, uma aplicação de TI com foco na economia circular pode envolver sistemas e dispositivos que exijam tanto a *internet* das coisas, como *big data*, e se não outras funcionalidades, por exemplo.

Em complementação a isto, por mais que as tecnologias interajam entre si, existem peculiaridades na forma com a qual elas lidam com os dados. Nesse sentido, Pagoropoulos, Pigosso e McAloone (2017) investigaram o uso das tecnologias emergentes na economia circular em termos de arquitetura da informação. O trabalho identificou a distribuição das tecnologias citadas na literatura com base nas camadas de coleta, integração e análise de dados. Para a camada de coleta, as principais tecnologias encontradas são IoT e identificação por rádio frequência (RFID), enquanto que na camada de integração de dados aparecem os sistemas de gerenciamento relacional de banco de dados³ e gestão do ciclo de vida do produto⁴, e por último a camada de análise dos dados é representada pelas tecnologias de inteligência artificial, análise de grandes dados (*big data*) e aprendizado de máquina (*machine learning*) (PAGOROPOULOS, PIGOSSO & MCALOONE, 2017). Por mais que as tecnologias

Portanto, para facilitar a compreensão das tecnologias predominantes entre a indústria 4.0 e a economia circular, será apresentado a seguir o Quadro 3, resumindo a descrição e possíveis aplicações dessas tecnologias para a economia circular.

Quadro 3: Resumo das tecnologias emergentes predominantes na economia circular.

Tecnologia	Descrições	Possíveis aplicações na economia circular
Inteligência artificial	<ul style="list-style-type: none"> • Abordagem para entender, modelar e replicar inteligência e processos cognitivos através de princípios computacionais, matemáticos, lógicos e até biológicos em aparelhos (FRANKISH & RAMSEY, 2014). • Não é inteligência de verdade, mas sim uma síntese automática de comportamentos ou inteligência sintética (POOLE, MACKWORTH & GOEBEL, 1998). 	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar o design da rede, através da escolha dos melhores operadores logísticos; Resolução de problemas complexos de localização e rotas; Estimativa do número de itens retornados durante a coleta; Reduzir incertezas enfrentadas por armazéns ao prever quantidades de retorno e apoiar às decisões de gerenciamento de estoque; Ajudar gestores a avaliar a

³ Do Inglês, *Relational Database Management Systems* (RDBMS).

⁴ Do Inglês, *Product Lifecycle Management* (PLM) systems.

	<ul style="list-style-type: none"> • Representa a habilidade de computadores controlarem robôs ou outros dispositivos para resolver problemas que só poderiam ser resolvidos com alta capacidade intelectual de processamento dos humanos, além de ter capacidade de se adaptar ao contexto e aprender (ERTEL, 2017). 	<p>viabilidade econômica da implementação de tecnologias de monitoramento (WILSON, PASCHEN & PITT, 2021).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajudar à designers para resolver complexidade na escolha e criação de novos materiais, com rápidas sugestões, substituindo por componentes mais benéficos ao meio ambiente; <p>Configuração da dinâmica de preços, das conexões (<i>matches</i>) entre clientes, da procura de demanda e das trocas de recursos em plataformas, para viabilizar negócios sustentáveis;</p> <p>Valorização dos materiais e produtos, através da separação dos materiais misturados nos canais pós-consumidores, por meio de reconhecimento visual (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2019).</p>
Internet das coisas	<ul style="list-style-type: none"> • Processo de tornar a rede de internet ubíqua, através da conexão dos objetos e aparelhos do cotidiano com todos os tipos de redes, <i>intranets</i> empresarias ou a própria <i>internet</i> global (UIT, 2005). • Objetos incorporados com inteligência, meios de comunicação e capacidades de sentir e atuar, conectados pelas redes de IP (<i>internet protocols</i>) (CIRANI et al., 2019). 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento do produto em diferentes estágios de produção a partir de informações em tempo real; <p>A IoT permite que máquinas e produtos criem valor, mesmo depois de saírem da cadeia produtiva;</p> <p>Capacidade de emprestar ou compartilhar ativos através da conexão de indivíduos e coisas via aparelhos móveis;</p> <p>Cooperação surge através da <i>internet</i> industrial e pessoas, criando assim uma rede aberta que conecta coisas, dados e pessoas (ASKOXYLAKIS, 2018).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promove acesso ao invés da propriedade, em perspectiva de servitização, que pode controlar e monitor objetos em tempo real para melhorar a gestão de estoque com sistemas de geolocalização; <p>Permite a comunicação de dados entre os stakeholders durante todas as fases do ciclo de vida do produto;</p> <p>Resíduos podem ser reduzidos no local e materiais entregue sob demanda (NOBRE & TAVARES, 2017).</p>
Computação em nuvem	<ul style="list-style-type: none"> • Computação em nuvem é um paradigma disruptivo da computação, sob a ideia de que o processamento e armazenamento de dados pode ser melhor executado em grandes centros de computação e sistemas de armazenamento acessíveis via <i>internet</i>; este tipo de computação possui 5 atributos: serviço sob demanda, acesso amplo 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiência energética, o que permite menos emissões de carbono; <p>Redução na infraestrutura de TI (equipamentos, cabeamento, unidades elétricas);</p> <p>Compartilhamento da mesma infraestrutura por grande número de organizações (GARG & BUYYA, 2012).</p>

	<p>à rede, agrupamento de recursos, elasticidade rápida e serviço mensurado (MARINESCU, 2018).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computação em nuvem trata da virtualização, sob 2 tipos: uma aplicação pode ser posta na nuvem para uma máquina virtual de alto nível disponibiliza-la entre grande número de usuários; ou o uso dos hardwares, físicos, para hospedar qualquer número de máquinas virtuais, as quais podem ter diferentes sistemas operacionais e aplicações (RUPARELIA, 2016). 	
<i>Big data</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser simplesmente referido enquanto a grande quantidade de dados produzidos na era digital, porém é mais específico a grandes conjuntos de dados, tanto em tamanho quanto em complexidade, em que novos algoritmos são necessários para extrair informações úteis (HOLMES, 2017). • Com o propósito de analisar a grande quantidade de dados não estruturados, <i>big data</i> pode ser caracterizado por 5Vs: volume, velocidade, variedade, valor e veracidade (ISHWARAPPA & ANURADHA, 2015). 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar a análise dirigida por big data para comparar a confiança mútua, cultura organizacional, consumo sustentável e comportamento corporativo na cadeia produtiva ou em redes interindustriais, e assim incrementar os fundamentos da simbiose industrial e melhorar a sustentabilidade da indústria (TSENG et al., 2018) • Reduzir incertezas e trazer previsões futuras baseadas em resultados; Gerar insights para integrar processos e compartilhar recursos; Ajudar a construir modelos preditivos baseados em dados históricos e em tempo real; Entender melhor detalhes do nível operacional para elaborar intervenções em processos; Pode ter impacto positivo nas áreas de produção diária, variabilidade da manutenção, performance da mão de obra, saúde e segurança, e disponibilidade de matérias-primas em estado crítico (GUPTA et al., 2018).

Fonte: Elaboração própria (2021).

2.3 MODELO DE NEGÓCIO CIRCULAR

O modelo de negócio é uma abordagem largamente difundida tanto no mercado quanto na academia, a qual sintetiza o modo de funcionar de uma empresa (OSTERWALDER, 2004). Todavia, este conceito possui distinções com base na época e no foco organizacional, de modo que a origem do termo remonta a uma perspectiva mais arraigada nas teorias organizacionais,

enquanto atualmente é mais direcionada para o desenvolvimento de novos negócios (empresas inovadoras).

Por outro lado, se nas primeiras acepções o centro de um modelo de negócio era incrementar a lucratividade da empresa, novas versões reanalisaram o conceito em adequação às práticas do desenvolvimento sustentável. Portanto, esta seção almeja esclarecer essas nuances do conceito de modelo de negócio, bem como explicitar um de seus mecanismos, a proposição de valor.

2.3.1 Modelo organizacional

A teoria das organizações compreende as estruturas conceituais para analisar as inter-relações entre recursos, estratégia e ambiente das organizações em seu sentido formal (ROBERTS, 2005), aquele cuja hierarquia, normas e processos são bem estabelecidos para cumprir os objetivos principais da organização (LACOMBE, 2004). Esta visão da organização como um todo de suas partes abriu caminho para novas conceituações sobre as formas e métodos de administração, de aperfeiçoamento organizacional e utilização de estratégias, criando assim a base para os modelos de organizações. Silva (c2021) adentra que:

o modelo organizacional visa representar a própria essência da unidade organizacional – o que ela representa de facto, quem a representa, qual o seu modelo de gestão [...], qual a sua cultura e como está estruturada a sua comunidade interna e as relações de poder [...] (SILVA, c2021, p. 20).

Por analogia, subentende-se que a visão organizacional é mais ampla do que a do negócio, sendo essa mais adstrita às formas de gestão, estratégia e ganho monetário. Deste modo, o modelo organizacional pode ser entendido enquanto elo entre a visão da teoria das organizações e a ideia de modelo de negócio.

2.3.2 Modelo de negócio e proposição de valor

Com base no despontamento dos estudos acadêmicos sobre modelo de negócio ao final dos anos de 1990 e início de 2000, com largas referências aos *e-businesses* ou modelos de negócios eletrônicos (OSTERWALDER, PIGNEUR & TUCCI, 2005; HEDMAN & KALLING, 2003), é possível deduzir que o termo ganhou força à medida que os novos negócios digitais foram surgindo em razão da *internet* (entre outras tecnologias da informação e comunicação) possibilitar estruturas e estratégias organizacionais diferentes ao *status quo* das indústrias da época. Porém, qualquer empresa pode ser descrita através do modelo de negócio.

Para Osterwalder (2004):

“O modelo de negócio é uma ferramenta conceitual que contém um conjunto de elementos e suas relações e que permite expressar a lógica de ganhar dinheiro da empresa. É uma descrição do valor que a empresa oferece para um ou vários segmentos de clientes e [também é] a arquitetura da firma e suas redes de padrões para criar, comercializar e entregar esse valor e capital de relacionamento, a fim de gerar canais lucrativos e sustentáveis de receitas (OSTERWALDER, 2004, p. 15; tradução e grifo nosso)”.

Hedman e Kalling (2003) sugerem que um modelo de negócio teria 7 componentes, sendo os clientes, competidores, oferta, atividades organizacionais, recursos, suprimento de fatores e produção de inputs, e componentes do processo longitudinal. E assim, este modelo “integra os aspectos internos da empresa que transformam fatores para recursos, através de atividades, em uma estrutura, aos produtos e ofertas, para o mercado”. (HEDMAN & KALLING, 2003, p. 53).

Além disso, um dos elementos chave do modelo de negócio (que inclusive destoa da ideia de modelo organizacional) é o valor. Segunda Osterwalder e Pigneur (2010), este pode ser entendido enquanto algo útil aos clientes, sendo um benefício para a qualificar seu negócio ou uma solução para resolver um problema deste. Ainda de acordo com os autores, um modelo de negócio descreve a razão de como uma organização cria, entrega e captura

valor (OSTERWALDER & PIGNEUR, 2010). Por isso, entender a proposta de valor de uma empresa, isto é, sua proposição de valor, é equivalente a entender o seu modelo de negócio. A proposição de valor proporciona uma visão geral do conjunto de produtos e serviços de uma empresa (OSTERWALDER, PIGNEUR & TUCCI, 2005), e assim engloba os elementos de criação, entrega e captura de valor.

De modo a facilitar o entendimento sobre estes elementos da proposição de valor, o Quadro 4 apresenta, a seguir, as descrições sobre cada um deles, com base em outros autores.

Quadro 4: Descritivo dos elementos da proposição de valor.

Elementos da proposição de valor	Descrições
Criação de valor	<ul style="list-style-type: none"> • Amenizar as dores e criar ganhos são características que fazer a criação de valor, a qual serve somente para um segmento de clientes específico (OSTERWALDER et al., 2014). • É uma atitude de um ator para aumentar o valor, na qual há o processo de desenvolvimento de recursos e os benefícios percebidos desse processo superam os sacrifícios percebidos (CHESBROUGH, LETTL & RITTER, 2018). • Processo que almeja aumentar a geração de valor, em um conjunto de atividades que permite clientes e fornecedores a progressivamente desfrutarem desse valor maior (SJÖDIN et al., 2020).
Entrega de valor	<ul style="list-style-type: none"> • A entrega de valor é processo pelo qual a proposta de valor é entregue aos clientes, através da comunicação, distribuição e canais de venda (OSTERWALDER et al., 2014). • Às entidades de relevância para o negócio (fornecedores, intermediários, entidades primárias e seus clientes), a entrega de valor a cada uma é entendida como um conjunto interconectado de relações, ou a cadeia da entrega de valor (BROWN, 2009). • No contexto da TI, entender o valor para o cliente debruça-se com a ideia de experimentação contínua, uma abordagem em que aspectos potencialmente valiosos são entregues aos clientes e dados são coletados de volta para entender a funcionalidade da entrega de valor (DINGSØYR & LASSENIUS, 2016).
Captura de valor	<ul style="list-style-type: none"> • Captura de valor é o processo de garantir lucros da criação de valor e distribuir estes lucros entre os fornecedores, clientes e parceiros (SJÖDIN et al., 2020). • Captura de valor não é apenas precificação, precisa ter mais considerações fundamentais e implicações estratégicas (MICHEL, 2014). • O componente da captura de valor precisa encontrar o equilíbrio entre o lucro da empresa e a lucratividade dos parceiros do ecossistema da empresa (TEECE & LINDEN, 2017). • Uma empresa obviamente irá falir se os recursos e atividades necessários para criar valor forem mais custosos do que o valor que capturam (OSTERWALDER et al., 2014).

Fonte: Elaboração própria (2021).

Então, na construção e funcionamento de um modelo de negócio lucrativo, a empresa (sua equipe) deve esquematizar elementos já citados como recursos, clientes, atividades, entre outros, em orientação a uma proposta de valor. Entretanto, na questão do desenvolvimento sustentável, a construção de um modelo de negócio voltado apenas para a maior lucratividade possível apenas espelha os modelos organizacionais que compõem o atual paradigma econômico global (economia linear). Portanto, para entender se e de que forma a economia circular pode ser implementada, é necessário entender os conceitos do modelo de negócio circular.

2.3.3 Modelo de negócio sustentável e proposição de valor circular

O modelo de negócio circular é pautado no modelo de negócio sustentável, cuja definição transcende o foco exclusivamente no rendimento monetário (como exposto no item anterior) para abarcar o pensamento do desenvolvimento sustentável. Assim, na visão de Stubbs e Cocklin (2008), um modelo de negócio sustentável⁵ requer que a organização trate a sustentabilidade enquanto uma estratégia do negócio, não apenas adicionando-a às práticas empresariais. Isto conjuga as questões éticas (da sociedade) às econômicas, em uma tentativa de abarcar a coisa certa e inteligente ao mesmo tempo. Os autores também destacam que os modelos de negócios sustentáveis necessitam que os analistas de mercado apoiem relatórios do tripé da sustentabilidade e requerem que os valores de acionistas, *stakeholders* e organizações estejam alinhados ao redor dos resultados da sustentabilidade (STUBBS & COCKLIN, 2008).

Outra contribuição para a conceituação de modelo de negócio sustentável é proveniente de Boons e Lüdeke-Freund (2013) que, ao revisarem a literatura, encontraram quatro bases para esse tipo de modelo. O Quadro 5 explicita os achados dos autores

⁵ Alguns autores, em especial Osterwalder (2004), mencionam o termo “sustentável” em definições do que é um modelo de negócio. Entretanto, para eles a sustentabilidade trata da capacidade de o negócio de se sustentar financeiramente ao longo do tempo, sendo distinto, assim, do sustentável do desenvolvimento sustentável por não incluir aspectos sociais e ambientais.

Quadro 5: Bases do modelo de negócio sustentável.

Bases	Descrição
Proposição de valor	A proposição de valor reflete um diálogo entre o negócio e a sociedade, concernindo a balança das necessidades econômicas, ecológicas e sociais.
Cadeia de suprimento	A cadeia de suprimentos envolve fornecedores que tomam responsabilidade para eles mesmo, bem como os <i>stakeholders</i> da empresa em questão.
Interface com cliente	A interface com o cliente motiva os clientes a tomar responsabilidade do seu consumo, bem como os <i>stakeholders</i> da empresa em questão.
Modelo financeiro	O modelo financeiro reflete uma distribuição apropriada dos custos e benefícios entre os atores envolvidos.

Fonte: Adaptado de Boons & Lüdeke-Freund (2013).

Se os conceitos iniciais sobre modelo de negócios eram fundamentados em estratégias de competição de mercado, (PORTER, 1985; HEDMAN & KALLING, 2003), é perceptível que o modelo de negócio quando inserido na ótica da sustentabilidade passa a estar mais voltado para a cooperação.

No que diz respeito aos modelos de negócio circulares, estes estão contidos dentro da perspectiva de modelo de negócio sustentável. Portanto, um modelo de negócio circular é um modelo de negócio sustentável, mas, com especificações, principalmente ao lidar com atividades que fechem o loop dos recursos ou diminuam seu uso. Por exemplo, Urbinati, Chiaroni e Chiesa (2017) evidenciam que o fluxo “recurso-produto-resíduo”, típico dos modelos de negócios tradicionais, é substituído pelo novo padrão de “recursos-produtos-resíduo-recursos renováveis” com a perspectiva da economia circular. Essa substituição traz mudanças significativas para o modo de funcionar do negócio, as quais implicam em:

[1] as atividades típicas que uma empresa possui na sua cadeia de suprimento para frente, – como compra de matéria-prima, produção, marketing e distribuição –, devem ser repensadas para um modelo de negócio voltado para a economia circular, o que necessita a adição de outras atividades, tais quais logística reversa, inspeção do estado dos produtos, redistribuição, reuso, remanufatura e reciclagem [...]. [2] a proposição de valor deve consistir na oferta de sistemas de produto-serviço [...] [3] os relacionamentos com clientes mudam,

aumentando o número de interações, frequentemente por contratos de empréstimo e aluguel. [e 4] o fluxo de receitas deriva principalmente por pagamentos de serviços orientados para uso ou resultado [...] (URBINATI, CHIARONI & CHIESA, 2017, p. 11 e 12; grifo nosso).

Por trás de tais modelos, é possível encontrar na literatura a ocorrência de um anteparo conceitual, baseados nos princípios e práticas da sustentabilidade. Ranta, Aarikka-Stenroos e Mäkinen (2018) tratam da adoção do princípio dos 3Rs (reduzir, reusar e reciclar) para a criação de valor circular. Já a Fundação Ellen MacArthur junto com SUN e Centro para Negócios e Meio Ambiente da McKinsey (2015) elaboraram o *ReSOLVE framework*, acrônimo de regenerar (*REgenerate*), compartilhar (*Share*), otimizar (*Optimize*), ciclo (*Loop*), virtualizar (*Virtualise*) e substituir (*Excehange*), com base no estudo de várias empresas de grande porte na Europa. Todavia, por mais que esses princípios ou práticas possam nortear o negócio, ainda assim não substituem os componentes tradicionais de um modelo de negócio (LEWANDOWSKI, 2016).

No que concerne a proposição de valor dos modelos de negócio circulares, há a incorporação de fatores sociais e ambientais junto ao econômico para configurar alinhamento ao desenvolvimento sustentável e o tripé da sustentabilidade, além de utilização de ações contidas no princípio dos 3Rs ou da estrutura *REsolve*, por exemplo. Para clarear o entendimento destas incorporações, o Quadro 6 expõem descrições dos elementos da proposição de valor circular.

Quadro 6: Descritivo dos elementos da proposição de valor circular.

Elementos da proposição de valor circular	Descrições
Criação de valor	<ul style="list-style-type: none"> • Tem sido associada à manutenção de produtos e processos, combinação de recursos e materiais, aquisição de resíduo reutilizados, reciclagem total de recursos, desmaterialização de produtos e processos de produção sob demanda (CENTOBELLI et al., 2020). • A lógica conceitual de um modelo de negócio circular é baseada na utilização do valor econômico retido nos produtos depois de seu uso para a geração de novas ofertas

	<p>(LINDER & WILLIANDER, 2017).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desafia os conceitos tradicionais da criação de valor puramente financeira através do fechamento do ciclo dos materiais e minimizando resíduos até um modelo de produção resíduo zero (LÜDEKE-FREUND, GOLD & BOCKEN, 2018).
Entrega de valor	<ul style="list-style-type: none"> • Uma organização pode vender uma proposta de valor virtual (ao invés de materializada) e entrega-la virtualmente, em canais online de venda ou contato com o cliente (LEWANDOWSKI, 2016). • Uma entrega de valor importante é a facilitação do intercâmbio entre atores como um serviço, ajudando a conectar fornecedores e clientes, além de motivar o compartilhamento de produtos, materiais e resíduos (LÜDEKE-FREUND, GOLD & BOCKEN, 2018).
Captura de valor	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser alcançado por meio da capitalização de fontes de receitas adicionais e intangíveis e reduzindo e custos e alterando sua estrutura. Mas, de forma a permitir preservação de recursos naturais e bem-estar societal (CENTOBELLI et al., 2020). • Contempla opções de preço premium, gerando receita adicional de produtos coproduzidos ou equitativos, e de alteração para modelos de preço baseados em serviços ao invés de vender bens (LÜDEKE-FREUND, GOLD & BOCKEN, 2018).

Fonte: Elaboração própria (2021).

Portanto pode-se observar que os modelos de negócio circulares ainda mantêm os componentes tradicionais de um modelo de negócio, mas especificados para os princípios da sustentabilidade e caracterizados para as ações da economia circular.

2.4 ABORDAGEM SISTÊMICA DA SUSTENTABILIDADE

Tratando-se de uma visão mais ampla da economia circular, a circularidade é um princípio que engloba a cadeia produtiva, não sendo exclusividade de uma organização apenas. Ainda mais, lidar com o desenvolvimento sustentável requer interagir com uma diversidade de áreas e entidades e, por isso, olhar apenas para a parte (organização) não oportuniza o entendimento mais profundo do fenômeno. Desse modo, esta parte do

referencial teórico explicita o aspecto sistêmico enquanto abordagem ideal para analisar o panorama da sustentabilidade.

Antes de introduzir os assuntos referentes à abordagem sistêmica, é pertinente clarear o que é um sistema e qual sua utilidade. Lacombe (2004) traz uma interessante visão acerca das acepções do termo sistema:

Conjunto integrado de elementos dinamicamente inter-relacionados, desenvolvendo uma atividade ou função para atingir um ou mais objetivos comuns ao conjunto. Um todo complexo ou organizado; conjunto ou combinação de coisas ou partes formando um todo unitário ou complexo (LACOMBE, 2004, p. 286)

Diante destas acepções, destacam-se termos como “complexo” ou “complexidade”. O pensamento sistêmico, entendido enquanto disciplina ou conjunto de ferramentas, torna-se útil para analisar a grande quantidade de interconexões entre as áreas de manifestação do Homem e da Natureza face a cenários onde há mais capacidade de criar informações do que absorvê-las, mais interdependência de processos do que conseguir administrá-los, e mais aceleração de mudanças que a sociedade possa acompanhar (SENGE, 2013).

2.4.1 Teoria Geral dos Sistemas

As teorias científicas sobre o processo sistêmico são originárias dos estudos do processo de retroalimentação (*feedback*) na cibernética e da teoria do servomecanismo, na engenharia (SENGE, 2013). Mas o estudo dos sistemas que ganhou mais notoriedade foi a Teoria Geral dos Sistemas (TGS), proposta por Ludiwig von Bertalanffy.

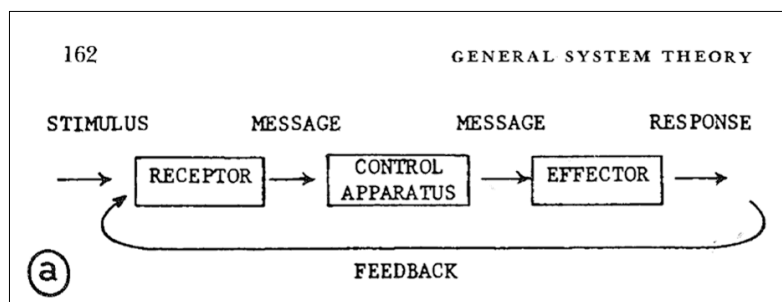
Bertalanffy (1968) observou que os princípios que regiam os sistemas físicos, poderiam ser aplicados também a sistemas biológicos, psicológicos e sociais. Com isso, surgia a necessidade de adentrar uma nova disciplina, não para um sistema mais ou menos especial, mas para os princípios universais aplicadas a todos, postulada de Teoria Geral dos Sistemas.

Destes princípios, podem ser ressaltados: a visão orgânica ao invés da visão mecanicista, dando ênfase às relações interatuantes entre os elementos

do mesmo ou com outros sistemas (o que também inclui os conceitos de sistema aberto e do processo de retroalimentação); e a relação da entropia (desordem) com a entropia negativa (interações com outros sistemas que mantêm a ordem no sistema) como determinante da homeostase, ou equilíbrio do sistema (BERTALANFFY, 1968).

Segue um exemplo do modelo conceitual mais simples de um sistema aberto, evidenciando o mecanismo de retroalimentação (*feedback*), conforme o mesmo autor:

Figura 4: Sistema aberto conceitual com *feedback*.



Fonte: Bertalanffy (1968).

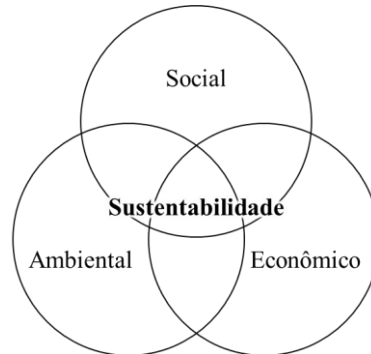
Assim, a TGS reúne diversas características dos sistemas que também podem ser expressadas por outros conceitos, a exemplo dos sistemas adaptativos complexos e sistemas dinâmicos, além dos já mencionados cibernética e teoria do servomecanismo. Nesse sentido, o presente trabalho nas características sistêmicas expostas pela TGS, mas opta por utilizar o termo abordagem sistêmica, entendendo que assim há uma comunicação com os constructos da teoria sem necessariamente adota-la integralmente, tanto em termos metodológicos e semânticos. Em outras palavras, é uma opção para empregar o pensamento sistêmico na análise do estudo sem realizar algum reducionismo ou superficialismo quanto à Teoria Geral dos Sistemas, em função desta possuir um *corpus* de assuntos robusto e, em geral, complexos.

2.4.2 Tripé da sustentabilidade

Em relação à sustentabilidade, a abordagem do tripé da sustentabilidade é amplamente difundida. Originada a partir de Elkington (1997), essa ideia

representa o desenvolvimento sustentável enquanto uma conjuntura proveniente das interações mútuas de 3 áreas ou sistemas: a economia, o meio ambiente e a sociedade. A Figura 5 ilustra o conceito do tripé da sustentabilidade através de um diagrama de Venn:

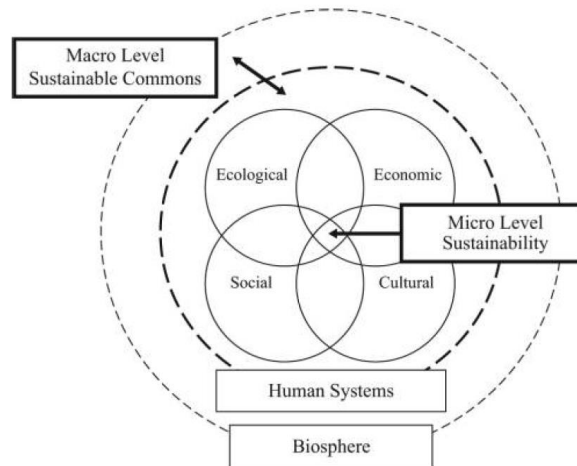
Figura 5: Tripé da sustentabilidade em diagrama de Venn.



Fonte: Adaptado de Elkington (1997).

Todavia, há de se entender mais as premissas desse modelo, do que fixar-se em sua estrutura. Os pilares do tripé da sustentabilidade formam-se a partir dos sistemas naturais, da Terra, em contato aos sistemas humanos, da ação do Homem em sociedade. Em razão disso, o tripé pode ter áreas acrescidas ou ser inserido dentro de outros sistemas à medida da necessidade de análise. É o caso de Espinosa e Porter (2011), ao estudarem a sustentabilidade na perspectiva de um sistema adaptativo complexo. Os autores comentam que os sistemas sociais – como uma empresa em um mercado, por exemplo – estão contidos dentro de um sistema biosférico maior, mas ambos mantêm relações coevolutivas através de níveis intermediários, além da inclusão de um aspecto cultural às esferas econômica, ambiental e social (ESPINOSA & PORTER, 2011). Exemplificativamente, a Figura 6 apresenta essa visão dos autores.

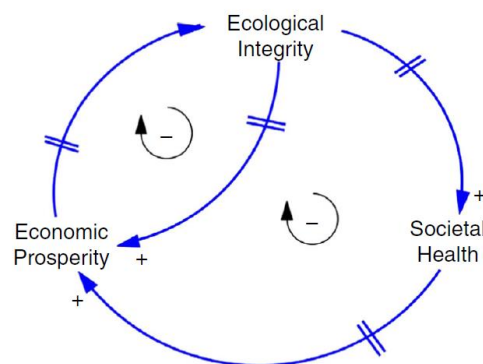
Figura 6: Modelo esquemático para sustentabilidade em sistemas adaptativos complexos.



Fonte: Espinosa & Porter (2011).

Schwaninger (2015) também traz uma visão que acrescenta a perspectiva do tripé da sustentabilidade. O autor aborda que a relação entre prosperidade econômica, integridade ecológica e saúde societal possui retardamentos no tempo de influência de uma área para a outra e que a relação pode ser positiva ou negativa a depender da influência cíclica (SCHWANINGER, 2015).

Figura 7: Dimensões da sustentabilidade com retardamentos (barras) e sinais de influência.



Fonte: Schwaninger (2015).

Barbier e Burgess (2017) abordam perspectiva semelhante acerca das interações positivas ou negativas entre os sistemas. Eles explicitam que as relações entre esses sistemas advêm de *trade-offs*, ou uma troca com perda relativa, em que em para ganhos em determinados aspectos de um sistema, ocorre a perda em outro(s), para assim buscar a sustentabilidade (interseção

tripla da Figura 5). No estudo, os autores analisaram a eficiência dos objetivos de desenvolvimento sustentável estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015) entre si, os quais, quando alocadas no respectivo sistema do tripé da sustentabilidade, pôde-se observar que, por exemplo, ao objetivo 1 (erradicação da pobreza, ligado ao sistema econômico) apresentar um índice positivo de eficiência, os objetivos 15 (vida terrestre), 10 (redução das desigualdades) e 17 (parcerias e meios de implementação) exibiram um resultado negativo (BARBIER & BURGESS, 2017). No entanto esses *trade-offs* aplicam-se de várias formas, sendo o desenvolvimento sustentável realizável quando as atividades humanas equalizam essas trocas.

Por fim, Clayton e Radcliffe (1996), complementam o olhar dos sistemas adaptativos complexos para a sustentabilidade com 2 conceitos: os espaços de estágio e as escalas temporais. Para os autores, quando a interseção entre múltiplos sistemas está dentro de um parâmetro específico – a sobrevivência humana, por exemplo – este é um espaço de estágio da sustentabilidade. Por outro lado, os sistemas são dinâmicos e, mesmo estando em “equilíbrio” mudam conforme o tempo. Assim, a escala temporal representa a evolução dos sistemas.

2.4.3 Aspectos sistêmicos e economia circular

Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), salientam que as raízes da economia circular estão na Teoria Geral dos Sistemas e na Ecologia industrial, e que a TGS promove holismo, pensamento sistêmico, complexidade, aprendizado organizacional e desenvolvimento de recursos humanos – exemplos de importantes premissas da economia circular.

Uma forma de comparação entre a perspectiva sistêmica e a economia circular é a observação de seu diagrama sistêmico (Figura 1). O diagrama ajuda no entendimento de como os sistemas produtivo e biológico estão interligados e também destaca os movimentos de *feedback*, da coleta à respectiva fase anterior da cadeia produtiva conforme a necessidade do produto (revenda, manutenção, reconstrução ou reciclagem). Desse modo, percebe-se como a economia circular funciona na lógica de sistema aberto

Quando aplicado ao estudo dos modelos de negócio sustentáveis ou circulares sob a perspectiva sistêmica, é comum o emprego do tripé da sustentabilidade enquanto referencial (ESPINOSA & PORTER, 2011). Isto pode ser visto nos casos de Cosenz, Rodrigues e Rosati (2019) e Fehrer e Wieland (2020), em que os primeiros elaboraram um conjunto de valores do negócio com base nas áreas do tripé, e os segundos por se apoiarem na visão de modelo de negócio circular dentro dos ciclos técnico-material e produto-serviço, social-colaborativo e de ecossistemas simbióticas (similar aos sistemas econômico, social e ambiental, respectivamente).

Portanto, a adoção do olhar sistêmico por meio do tripé da sustentabilidade é uma abordagem satisfatória para compreender a economia circular e seus modelos de negócios.

2.5 DESENVOLVENDO *FRAMEWORK* CONCEITUAL

O *framework* conceitual é uma ferramenta construída a partir de revisão da literatura com o intuito de assessorar o processo metodológico do estudo ao proporcionar um anteparo teórico para o fenômeno ou problemática em estudo. Neste tópico, serão apresentadas as etapas que culminaram em sua elaboração.

2.5.1 Revisão sistematizada da literatura

Após a familiarização com os dados (V. Item 3.4.1), iniciou-se a elaboração de uma estrutura teórica que orientasse a fase posterior de codificação, denominada de *framework* conceitual. Para isso, foi conduzida uma revisão sistematizada da literatura direcionada para a relação entre a economia circular e as tecnologias da informação, havendo também a incorporação das áreas ambiental e social dentro da economia circular ao modo de alinhamento com o conceito do tripé da sustentabilidade. Esta revisão adotou procedimentos semelhantes aos indicados por Budgen e Brereton (2006).

Portanto, foram realizadas 4 buscas na base *Web of Science*, que no total levantaram 749 artigos, dos quais 68 foram analisados em função do título

estar alinhado aos objetivos da busca. Em seguida permanecerem 28 artigos (dos 68) após a leitura completa do resumo e, por fim, restaram 10 que foram utilizados para a elaboração do *framework*. O detalhamento das buscas (objetivos, expressões e números estratificados) podem ser visualizados com maior clareza no Quadro 7, a seguir.

Quadro 7: Protocolo de buscas.

Informações	Busca I	Busca II	Busca III	Busca IV
Objetivo	Compreender as características das tecnologias de informação e comunicação e seu papel na economia circular	Entender a proposição de valor no contexto da economia circular	Explorar os aspectos ambientais relacionados à economia circular	Explorar os aspectos sociais relacionados à economia circular
Expressão de busca	TÍTULO: ((IT OR information technology) OR (ICT OR information and communication technology) OR (smart technology) OR (digital technology) OR (internet technology) OR (innovative technology) OR (disruptive technology)) AND TÍTULO: ((review) OR (typology) OR (taxonomy) OR (survey)) AND TÓPICO: ((circular economy) OR (circularity) OR (industrial ecology) OR (industrial symbiosis) OR (industry 4.0) OR (sustainab*) OR (cradle to cradle) OR (recycling) OR (waste management))	TÍTULO: ((circular economy) OR (circularity) OR (industrial ecology) OR (industrial symbiosis) OR (sustainab*) OR (cradle to cradle) OR (recycling) OR (waste management)) AND TÍTULO: ((business model) OR (organizational model) OR (value proposition OR value capturing OR value creation OR value delivery))	TÓPICO: ((circular economy OR circularity) AND (sustainability OR triple bottom line)) AND TÍTULO: (environmental)	TÓPICO: ((circular economy OR circularity) AND (sustainability OR triple bottom line)) AND TÍTULO: (social)
Base	Web of Science	Web of Science	Web of Science	Web of Science
Anos	2016 a 2021	2016 a 2021	2016 a 2021	2016 a 2021
Filtros utilizados na base	Nenhum	Documentos: artigos ou proceeding papers; Áreas: GREEN SUSTAINABLE SCIENCE TECHNOLOGY OR ENVIRONMENTAL SCIENCES OR ENVIRONMENTAL STUDIES OR ENGINEERING ENVIRONMENTAL OR DEVELOPMENT STUDIES OR MANAGEMENT OR ECOLOGY OR BUSINESS OR ENGINEERING INDUSTRIAL OR MULTIDISCIPLINARY SCIENCES OR ECONO-MICS OR TRANSPORTATION SCIENCE TECHNOLOGY OR ENGINEERING MANUFACTURING OR ENGINEERING MECHANICAL OR	TIPOS DE DOCUMENTO: (ARTICLE OR PROCEEDINGS PAPER) AND CATEGORIAS DO WEB OF SCIENCE: (ENVIRONMENTAL SCIENCES OR GREEN SUSTAINABLE SCIENCE TECHNOLOGY OR ENGINEERING ENVIRONMENTAL OR ENVIRONMENTAL STUDIES OR MANAGEMENT OR BUSINESS)	CATEGORIAS DO WEB OF SCIENCE: (ENVIRONMENTAL SCIENCES OR GREEN SUSTAINABLE SCIENCE TECHNOLOGY OR ENVIRONMENTAL STUDIES OR ENGINEERING ENVIRONMENTAL OR ECONOMICS OR MANAGEMENT OR BUSINESS)

		ENGINEERING ELECTRICAL ELECTRONIC OR BUSINESS FINANCE OR OPERATIONS RESEARCH MANAGEMENT SCIENCE OR TRANSPORTATION OR MATERIALS SCIENCE MULTIDISCIPLINARY OR AUTOMATION CONTROL SYSTEMS		
Amostra inicial	101	498	123	27
Amostra após leitura dos títulos e exclusão dos não alinhados	14	35	13	6
Amostra após leitura completa dos resumos e exclusão dos não alinhados	7	11	8	2
Amostra após verificação do acesso integral ao trabalho	7	11	8	2
Amostra final após a leitura completa do trabalho	3	3	2	2

Fonte: Elaboração própria (2021).

2.5.2 Gerando códigos iniciais da literatura

Com base na leitura dos artigos que relacionavam os aspectos tecnológicos à economia circular, foi possível identificar 8 códigos, respectivamente “sensoriamento”, “monitoramento”, “conectividade”, “integração”, “padronização”, “processamento”, “identificação de padrões” e “tomada de decisão”, em meio a 26 trechos extraídos dos materiais lidos. O Quadro 8 explicita as citações dos artigos que originaram os códigos iniciais para o *framework* conceitual.

Quadro 8: Geração de códigos iniciais na literatura para artigos da busca I.

Artigo	Aspectos tecnológicos identificados	Código inicial
<i>A survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: state of the art, taxonomies, perspectives, and challenges</i> ⁶	<i>At the basis of the logical framework lies the perception layer, composed of sensors and actuators;</i>	Sensoriamento
	<i>Systems are commonly considered in the area of robotics whether they are able to perform the three functions defining a robot: (i) acting on environmental stimuli in combination with (ii) sensing and (iii) logical reasoning [65].</i>	Sensoriamento
	<i>the Internet acts as the glue making the interaction among distributed entities (both humans and machines) possible</i>	Conectividade
	<i>The specific application of IoT to the vision of I4.0 is the so-called “Industrial IoT” (IIoT), defined as “machines, computers, and people enabling intelligent industrial operations, using advanced data analytics for transformational business outcomes”</i>	Conectividade
	<i>Pattern recognition is also a branch of Machine Learning focusing on identifying patterns in data.</i>	Identificação de padrões
	<i>“Cloud Computing” (or simply “Cloud”) is a paradigm that enables “Utility Computing”, i.e. the leasing of computing resources (computational power, storage, and the related networking resources) in real time, with minimal interaction with the provider.</i>	Processamento
	<i>Over time its focus has moved from datasets characteristics in relation to the current technologies [...] to the technologies designed to economically extract value from very large volumes of a wide variety of data, by enabling the high-velocity capture, discovery, and/or analysis.</i>	Processamento
	<i>Evolutionary robotics is a technique for the automatic creation of autonomous robots that leverages the tools of neural networks, genetic algorithms, and dynamic systems [131].</i>	Processamento
	<i>Deep learning refers to a subset of Machine Learning that is characterized by multi-layered (“deep”) architectures, and can be thought of as the automation of predictive analytics [162].</i>	Processamento
	<i>Machine vision (or Computer Vision) captures and analyzes visual information leveraging cameras, analog-to-digital conversion, and digital signal processing and aims at creating a model of the real world from images [163].</i>	Processamento
<i>The emergent role of digital technologies in the Circular Economy: A Review</i> ⁷	<i>Internet of Things (IoT): defined as sensors and actuators connected by networks to computing systems that can monitor or manage health and actions of connected objects and machines.</i>	Sensoriamento
	<i>In the context of circular economy, RFID help track material flows to enable value recovery through the implementation of Re-strategies such as Reuse, Repair and Remanufacture.</i>	Monitoramento
	<i>Lieder et al. [22] highlight the importance of PLM systems in the company level, as they enable monitoring of products and parts in multiple lifecycles.</i>	Monitoramento
	<i>Lewandowski [4] argues that it is important to consider how digital</i>	Monitoramento

6 Aceto, A; Persico, V; Pescape, A. **IEEE Communication Surveys and Tutorials**, 2020.

7 Pagoropoulos, A; Pigosso, D; McAlone, T. **9th CIRP Industrial Product/Service-Systems (IPSS) Conference**, 2017.

	<i>technologies can use adequate IT and data management technologies to support material tracking and other specific technologies e.g recycling.</i>	
	<i>PLM systems support the transition to the Circular Economy, as they help integrate information across multiple life cycles and across various stakeholders in the value chain.</i>	Integração
	<i>Relational Database Management Systems (RDBMS) and database handling systems: systems associated with the organization of data in formally described tables.</i>	Padronização
	<i>Salminen et al. [19] highlight the role of data standardization and warehousing in waste handling, as it facilitates decision making leading to the replanning of the value network.</i>	Padronização
	<i>Also referred to as Artificial Intelligence (AI), the application of machine learning algorithms such as Neural Networks that rely on mass processing of data, rather than a complex set of rules to identify patterns in the data and make predictions.</i>	Identificação de padrões
	<i>Srai et al. [12] argue that data analytics that can provide insights both from raw data and also embedded data on multiple machine/equipment/product objects.</i>	Tomada de decisão
	<i>Big Data analytics is seen as a viable approach to make use of information from various systems of record such as sensors and IoT, to enable better decision making.</i>	Tomada de decisão
	<i>Big Data analytics: consequence of the increase of technical data collection capacity, due to the proliferation of inexpensive processing equipment, resulting in increase of the size of datasets.</i>	Processamento
<i>Circular economy under the impact of IT tools: a content-based review⁸</i>	<i>The role played by IoT in case of Circular Economy involves collection of information from sensors for connecting stakeholders across the value chain.</i>	Sensoriamento
	<i>When applied to the circular economy paradigm, RFID helps track material flows so as to enable value recovery achieved by the implementation of strategies such as Reuse, Repair and Remanufacture.</i>	Monitoramento
	<i>Also, according to Srai (2016), the connected manufacturing systems can enable monitoring, control, and optimisation of stocks and material flow cooperation and communication over processes and networks</i>	Monitoramento
	<i>RDBMSs and data handling systems also support the goals of circular economy, as they help in integrating the information produced by heterogeneous data collection systems such as IoT, ERP (Enterprise Resource Planning) and CRM (Customer Relationship Management) systems.</i>	Integração
	<i>RDBMSs have the power to integrate heterogeneous data sources, where data architecture is specified to enable the analytical requirements of the information architecture.</i>	Padronização

Fonte: Elaboração própria (2021).

Quanto à proposição de valor em negócios da economia circular, foco da busca II, foram levantados inicialmente 5 códigos dentre 33 menções dos artigos, sendo estes “criação de valor”, “entrega de valor”, “captura de valor”, “cadeia de valor de baixo”, “cadeia de valor de cima” e “parceiros”, conforme o Quadro 9.

Quadro 9: Geração de códigos iniciais na literatura para artigos da busca II.

Artigo	Aspectos tecnológicos identificados	Código inicial
<i>Creating value in the circular economy: A structured multiple-case</i>	<i>The concept of the circular economy (CE) proposes newways for firms to create previously unattained value for both customers and the firm itself (MacArthur, 2013).</i>	Criação de valor
	<i>In a CE, products and materials continue to circulate in so-called “loops” for as long as they can provide value, while simultaneously promoting activities that reduce the need for the material per unit of value produced</i>	Criação de valor

⁸ Rizvi, S; Agrawal, S; Murtaza, Q. *International Journal of Sustainable Engineering*, 2020.

<i>analysis of business models⁹</i>	<i>In the sustainable business model approach, the value centrality of the business model is extended to include societal and environmental values, as well as economic value (Dentchev et al., 2018).</i>	Criação de valor
	<i>Resources and capabilities, organization, and position in the value network represent the subcomponents of value creation and delivery in our model;</i>	Entrega de valor
	<i>For value capture, revenues streams and the economics of the business were selected as sub-components because, regardless of the addition of CE aspects, a firm will capture value through added revenue or realized benefits to the economics of the venture.</i>	Captura de valor
	<i>An important factor is the ability to capture value through both the waste treatment service and the end-products of the CE Village, as the interviewed research & development manager explains the following regarding revenue sources: "We also collect a gate-fee as we accept the waste, in addition to the revenue gained from the sales of the process endproducts."</i>	Captura de valor
	<i>the reduce principle emerges throughout the cases as an incentive for customers to take part in the take-back services.</i>	Cadeia de valor de baixo
	<i>Diverting waste to recycling in various parts of the value chain.</i>	Cadeia de valor de baixo
	<i>Dell pays its non-profit partner Goodwill to handle the separation and reuse part of the business model (Napsha and Olson, 2009; Negley, 2012; Renstrom, 2016).</i>	Parceiros
	<i>Rafatac's RafCycle service operates as an internal supplier for the WPC product business.</i>	Cadeia de valor de cima
	<i>organizing waste management services to label customers.</i>	Cadeia de valor de cima
	<i>Provider of waste treatment services to waste collectors, agriculture, and industry.</i>	Cadeia de valor de cima
<i>Influential factors for value creation within the Circular Economy: Framework for Waste Valorisation¹⁰</i>	<i>Models following the innovative process of Waste Valorisation, foreground the exchange of by-product or residue converted into valuable resources or material (Kaur et al., 2018).</i>	Criação de valor
	<i>Knowing waste streams and their components allows waste classification and pushes valorisation forward (value creation).</i>	Criação de valor
	<i>Mobile technology seems to be an ideal technology to facilitate circular business such as Waste Valorisation. It enables and provides live-reporting and tracking options.</i>	Criação de valor
	<i>It appears to be necessary to drive compliance to realise Waste Valorisation.</i>	Entrega de valor
	<i>Technology should also be considered as a 'bridging' facilitator when aiming to engage the end-consumer to stay in the loop.</i>	Entrega de valor
	<i>However, within circularity, 'bonding' and 'bridging' activities with customers and supplier after the point of sales are essential. This is particularly important when it comes to the end-of-life and possible return-, as well as recycling schemes (value capture).</i>	Captura de valor
	<i>Nowadays customer clearly state their demands, [...], sometimes they need to be made aware of re- and upcycled or refurbished products (value capture).</i>	Captura de valor
	<i>Furthermore, customers and other stakeholders need to be involved in the 'waste-to-resource' innovation process (Stewart and Niero, 2018).</i>	Cadeia de valor de baixo
	<i>Based on these finding, we decided to display the triadic relationship between the organisation, the customer and the supplier</i>	Cadeia de valor de baixo
	<i>There is also a common wish for stronger 'bridging' activities with partners and suppliers. These activities could also take place cross-industrial wise.</i>	Parceiros
<i>Collaborative partnerships include bonding or bridging with other organisations, as well as linking with external institutions, are necessary in a circular environment and will ultimately create value for organisations involved in this type of partnerships.</i>	Parceiros	
<i>participants considered the 'Implementation process' as both, internally within the organisation, and externally with suppliers.</i>	Cadeia de valor de cima	
<i>Systemic building blocks</i>	<i>the EMF who defined the CE as "an economy regenerative and restorative by intention and design" (EMF and McKinsey, 2012: 7), and that provides opportunities for "multiple value creation</i>	Criação de valor

9 Ranta, V; Aarikka-Stenroos, L; Makinen, S. **Journal of Cleaner Production**, 2018.

10 Leder, N; Kumar, M; Rodrigues, V. **Resources Conservation and Recycling**, 2020.

<i>for creating and capturing value from circular economy</i> ¹¹	<i>mechanisms decoupled from the consumption of finite resources” (EMF et al., 2015: 14).</i>	
	<i>value creation potential derives from the circulation and flows of technical and biological materials, products and components through the economy.</i>	Criação de valor
	<i>there are many options for capturing value but the three we consider most common and successful in a CE are: resale; performance-based delivery and internalisation.</i>	Captura de valor
	<i>There may also be new extended relationships with 3rd parties or new service providers such as recycling companies (e.g., for the recovery of plastics and components), distributors [...]</i>	Cadeia de valor de baixo
	<i>a (new) product is delivered to customers, without needing to communicate the circular elements of the offer.</i>	Cadeia de valor de baixo
	<i>In the new ecosystem, design criteria are informed by feedback from maintenance data and close loop end-of-life pathways, themselves influenced by the development of new BMs and new, collaborative reverse network partnerships.</i>	Parceiros
	<i>They are now at a point where new value chain partnerships and opportunities are emerging, driven by digital technology, increasing the product-service value creation, capture and distribution and building relationship into new areas.</i>	Parceiros
	<i>This process is co-created with suppliers as part of the learning of how to design value chains better</i>	Cadeia de valor de cima
	<i>This places emphasis on the complex relations in a value network necessary for creating and capturing value, with the BM viewed within its web of suppliers, customers and partners</i>	Cadeia de valor de cima

Fonte: Elaboração própria (2021).

No que tange à busca III, sobre os aspectos ambientais expostos nos estudos de economia circular, foram identificados 5 códigos, cujas menções perfilam 31 trechos dos artigos. São esses códigos: “efeito ambiental”, “recursos naturais”, “uso eficiente de recursos”, “substituição de recursos” e “capital ambiental”. De modo mais claro, o Quadro 10 irá evidenciar a geração desses códigos.

Quadro 10: Geração de códigos iniciais na literatura para artigos da busca III.

Artigo	Aspectos tecnológicos identificados	Código inicial
<i>Do circular economy business models capture intended environmental value propositions?</i> ¹²	<i>Reduced emissions throughout the full material cycle through the use of less raw material and sustainable sourcing</i>	Efeito ambiental
	<i>Less pollution through clean material cycles</i>	Efeito ambiental
	<i>A CE is an economy that provides multiple value-creation mechanisms which are decoupled from the consumption of finite resources (Ellen MacArthur Foundation et al., 2015).</i>	Recursos naturais
	<i>less input and use of natural resources,</i>	Recursos naturais
	<i>return recovered biological resources to the biosphere</i>	Recursos naturais
	<i>Reduced import dependence on natural resources</i>	Recursos naturais
	<i>Minimised and optimised exploitation of raw materials, while delivering more value from fewer materials</i>	Uso eficiente de recursos
	<i>Efficient use of all natural resources</i>	Uso eficiente

11 Hopkinson, P; De Angelis, R; Zils, M. **Resources Conservation and Recycling**, 2020.

12 Manninen, K; Koskela, S; Antikainen, R; Bocken, N; Dahlbo, H; Aminoff, A. **Journal of Cleaner Production**, 2018.

		de recursos
	<i>Minimised overall energy and water use</i>	Uso eficiente de recursos
	<i>Because cement production is a very energy intensive process, causing a lot of emissions (Vieira et al., 2016), a substitute for cement could lower the total environmental impacts of wood stone</i>	Substituição de recursos
	<i>Available material banks, e.g. Finnish soil market (Maap€orssi, 2017) could be utilised to find recycled material (e.g. sand) for the raw materials.</i>	Substituição de recursos
	<i>The process energy and transportation fuels could be changed to sustainably produced renewable energy to reduce the environmental impact.</i>	Substituição de recursos
	<i>Non-renewable resources replaced with renewable ones within sustainable levels of supply</i>	Substituição de recursos
	<i>Increased share of recyclable and recycled materials that can replace the use of virgin materials</i>	Substituição de recursos
	<i>The financial model of a circular business model might look quite different, because businesses pursuing such business models aspire to create new forms of value previously externalised by companies (i.e., creating positive environmental impact).</i>	Capital ambiental
	<i>The natural "Environment", analogous to the sustainable business model literature, also is a key stakeholder (Driscoll and Starik, 2004; Starik, 1995; Stubbs and Cocklin, 2008).</i>	Capital ambiental
<i>Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research¹³</i>	<i>The role of environmental sciences took a turn with the realization that human-induced stresses on various environments were taking a dangerous toll</i>	Efeito ambiental
	<i>"environmental protection", which can be defined broadly as efforts to both understand the mechanisms at play within the environment and the solutions (technological or other) that can have some impact (positive or negative).</i>	Efeito ambiental
	<i>Because the linear economy stays blind to much of the loop, it is often illustrated as a line, with a beginning and an end - from extraction to disposal where the potential returns to Earth are lost through pollution</i>	Efeito ambiental
	<i>post-consumption products come around to haunt us as pollution as they eventually end up either in a landfill or are dispersed in ways that contaminate our environment.</i>	Efeito ambiental
	<i>Very simply, "environment" can be defined as the biological and abiotic elements surrounding an individual organism or a species,</i>	Recursos naturais
	<i>"Environment" can also be defined as all the natural components of the Earth (air, water, soils, vegetation, animals, etc.)</i>	Recursos naturais
	<i>Fossil fuels and virgin mineral resources will never be renewable resources and sustainable development can be perceived to have an integrated growth concept that is not easily reconciled with a near stop to growth based on ending the consumption of finite resources such as fossil fuels and minerals.</i>	Recursos naturais
	<i>current manufacturing processes favor the use of virgin resources which are readily available in an easy-to-use form.</i>	Recursos naturais
	<i>"circular economy" offers a conceptual framework that enables the development of contractual agreements between the users and providers of products and services that can better align incentives and lead to more eco-efficient uses of resources.</i>	Uso eficiente de recursos
	<i>A refocusing on rental and shared-use offers the potential to improve the efficiency in use, as well as reduce the needs for maintenance and the needed space for storage</i>	Uso eficiente de recursos
	<i>Eco-design [...] can be briefly summarized as an approach where environmental considerations are integrated into the product design and development.</i>	Uso eficiente de recursos
	<i>Feasibility depends on the substitutability of natural capital and man-made capital (such as physical capital or knowledge) in production.</i>	Substituição de recursos
	<i>As Andersen (Andersen, 2007) suggests, renewable resources should be viewed as "money in the bank",</i>	Capital ambiental
	<i>it requires changing the paradigm of the linear economy where the external costs related to a series of environmental and human health issues are dissociated from the production and consumption of the goods</i>	Capital ambiental
<i>the circular economy offers a more comprehensive approach (Bonciu, 2014), with each step in the production and useful life of the product,</i>	Capital ambiental	

13 Sauv e, S; Bernard, S; Sloan, P. **Environmental Development**, 2016.

	<i>and its repair or dismantlement, internalizing both the cost of using new material resources and energy, and their release of contaminants that have negative impacts on the environment and human beings</i>	
--	--	--

Fonte: Elaboração própria (2021).

Por último, a busca IV, sobre os aspectos sociais ligados à economia circular, obteve a geração de 8 códigos iniciais, analisados em 25 passagens dos artigos. São os códigos gerados nessa busca: “empregabilidade”, “trabalho decente”, “responsabilidade do produto”, “articulação política”, “qualidade de vida”, “equidade” e “participação social”.

Quadro 11: Geração de códigos iniciais na literatura para artigos da busca IV.

Artigo	Aspectos tecnológicos identificados	Código inicial
<i>Addressing the Social Aspects of a Circular Economy: A Systematic Literature Review¹⁴</i>	<i>employment was the social aspect most often cited in this review, since CE has the potential to create employment opportunities, which directly deals with regional unemployment disparities and occupational mismatch.</i>	Empregabilidade
	<i>show that it is necessary that governments are involved by proposing new policies and incentivize their developments in order to create more Jobs</i>	Empregabilidade
	<i>measures to promote green jobs in the context of sustainability should be oriented towards the development of educational programs and training and encourage the adoption of greener technologies among different stakeholders.</i>	Empregabilidade
	<i>green jobs on the road to contribute to decent work have to: (1) incentive jobs that meet conditions in terms of pollution (which have to be minimized), (2) commute traditional jobs to greener jobs, by employing non fossil sources, by retraining workers and by greening working methods, and (3) stop working in excessively contaminated areas.</i>	Trabalho decente
	<i>potential social impacts on social actors along the product value chain.</i>	Responsabilidade do produto
	<i>CE strategies should explicitly propose strategic and systematic approaches to bring all stakeholders, together, to attempt policy coherence.</i>	Articulação política
	<i>all CE actors must be connected more closely with multi-perspective policy processes and intergovernmental discussions, and should be organized by a common perspective of a sustainable CE system.</i>	Articulação política
	<i>These priorities [of human health] include dealing with major disease concerns, strengthening people-centered health systems and public health capacity, and creating supportive environments and resilient communities</i>	Qualidade de vida
	<i>The CE may affect the burden of disease, both positively, e.g., through reduction of air pollution due to transition to circular economy mobility and production modes [68,69]</i>	Qualidade de vida
	<i>the transition to the circular economy could promote supportive environments and resilient communities to the extent that this translates into improved well-being and quality of life.</i>	Qualidade de vida
	<i>there are multiple references to social equity ranging from intra-generational equity and inter-generational equity [48]</i>	Equidade
	<i>The importance of equity resides, among other aspects, in improving human rights and social justice.</i>	Equidade
	<i>Participation and local democracy are two ways in which society can express their own opinions,</i>	Participação social
<i>Both aspects can serve as local change mechanisms to educate people, and facilitate information about a bureau's activities, and enable people to be part of conducting decisions.</i>	Participação social	
<i>operation of CE should increase participative democratic decision-making through a community user</i>	Participação social	

14 Padilla-Rivera, A; Russo-Garrido, S; Merveille, N. **Sustainability**, 2020.

	<i>Participation by local actors also plays an important role in a community-centered perspective that accentuates local empowerment.</i>	Participação social
Social Life Cycle Assessment of Product Value Chains Under a Circular Economy Approach: A Case Study in the Plastic Packaging Sector¹⁵	<i>potential training and education proposed, required or expected for workers due to innovations and changes within the value chain processes</i>	Empregabilidade
	<i>potential (direct or indirect) impact on local employment due to the innovations applied to the value chains</i>	Empregabilidade
	<i>potential rise or reduction of workers' risks and/or prevention measures modification due to the innovations and changes within the value chain processes.</i>	Trabalho decente
	<i>final performance of products and necessary efforts needed to address consumer health and safety due to the innovations and changes within value chains' processes.</i>	Responsabilidade do produto
	<i>potential risks or benefits related to resources consumption and depletion with regard to the value chains' processes and innovations</i>	Responsabilidade do produto
	<i>potential improvement or worsening regarding relationships between value chain actors, due to the innovations proposed.</i>	Articulação política
	<i>potential risks or benefits related to impact on community safety and health, e.g., water drainage, pollution, hazardous material generation, etc., with regard to the value chains' processes and innovations.</i>	Qualidade de vida
	<i>equal opportunities management practices or presence of discrimination within workers based on gender</i>	Equidade
<i>inclusion of community stakeholders (affected by actions or products) in the decision-making process with regard to value chains' innovations</i>	Participação social	

Fonte: Elaboração própria (2021).

2.5.3 Procurando por temas da literatura

Tendo sido gerados os códigos iniciais, a análise temática procedeu para uma de suas etapas singulares, a identificação de temas entre os códigos iniciais. Alguns códigos foram agrupados em temas com base em conceitos da literatura, enquanto outros foram associados por temas mais amplos, de conhecimento e significado geral.

Por exemplo, os códigos iniciais relativos aos aspectos tecnológicos foram tematizados de acordo com os níveis de arquitetura da tecnologia da informação, proposto por Pagoropoulos, Pigosso e McAloone (2017), em que a TI estratifica-se em níveis de “Coleta de dados”, “Integração de dados” e “Análise de dados”, respectivamente os 3 temas (e ao mesmo tempo subcategorias) desses códigos iniciais. Outro exemplo de identificação de temas apoiada em constructo da literatura foi para os códigos de criação, entrega e captura de valor, em que o tema “Proposição de valor” evidentemente emergiu e tem respaldo em diversos autores que tratam do estudo dos modelos de negócio, sobretudo Osterwalder (2004). Os demais

15 Reinales, D; Zambrana-Vasquez, D; Saez-De-Guinoa, A. **Sustainability**, 2020.

códigos foram associados com base em temas de conhecimento mais amplo e com significado em comum entre os mesmos.

Além dos temas, foi possível o enquadramento em temas principais (temas maiores ou categorias). As categorias, até pela proposição dos objetivos da pesquisa, estão alinhadas com o conceito de tripé da sustentabilidade (ELKINGTON, 1997) e, conseqüentemente, com os assuntos das buscas de revisão da literatura, mas incluem o fator das tecnologias da informação.

Logo, todos os temas convergem para as categorias de “Domínio tecnológico”, “Esfera econômica”, “Esfera ambiental” e “Esfera social”, como pode ser melhor observado no Quadro 12.

Quadro 12: Temas identificados entre os códigos iniciais.

Códigos iniciais	Temas ou subcategorias	Temas principais ou categorias
Sensoriamento	Coleta de dados	Domínio tecnológico
Monitoramento		
Conectividade		
Integração	Integração de dados	
Padronização	Análise de dados	
Processamento		
Identificação de padrões		
Tomada de decisão		
Criação de valor	Proposição de valor	
Entrega de valor		
Captura de valor		
Cadeia de valor de baixo	Cadeia de valor	
Parceiros		
Cadeia de valor de cima		
Efeito ambiental	Meio ambiente	Esfera ambiental
Recursos naturais		
Uso eficiente de recursos	Práticas sustentáveis	
Substituição de recursos		
Capital ambiental		
Empregabilidade	Responsabilidade laboral-comercial	Esfera social
Trabalho decente		
Responsabilidade do produto		
Articulação política	Bem-estar e cidadania	
Qualidade de vida		
Equidade		
Participação social		

Fonte: Elaboração própria (2021).

2.5.4 Definindo temas da literatura

Em prosseguimento à identificação dos temas, foi efetuada a etapa de definir os temas, bem como os códigos iniciais. Isto é, trazer descrições sucintas sobre o que significada cada elemento, de modo a permitir uma construção mais clara do *framework* conceitual. Semelhantemente à nomeação dos temas, no item anterior, a definição dos códigos também decorreu com base na literatura, em parte, e a partir de conhecimentos gerais do significado do nome do tema, ficando este último a cargo da elaboração do autor. Nesse sentido, o Quadro 13, apresentado a seguir, exhibe as definições dos códigos iniciais.

Quadro 13: Definição dos códigos iniciais.

Código inicial	Definição
Sensoriamento	O código de sensoriamento expressa as informações relativas às tecnologias que utilizam sensores para captar dados (PAGOROPOULOS, PIGOSSO & MCALOONE, 2017).
Monitoramento	O código de monitoramento aborda as funções da TI voltadas para o acompanhamento de recursos ao longo dos processos e/ou cadeia produtiva (PAGOROPOULOS, PIGOSSO & MCALOONE, 2017).
Conectividade	O código de conectividade representa as tecnologias que realizam múltiplas interações com outras tecnologias e objetos informatizados (PAGOROPOULOS, PIGOSSO & MCALOONE, 2017).
Integração	O código de integração adentra as funções de integrar diferentes formatos de dados em um único específico (PAGOROPOULOS, PIGOSSO & MCALOONE, 2017).
Padronização	O código de padronização expõe as tecnologias que transformam o formato dos dados para um tipo mais adequado (PAGOROPOULOS, PIGOSSO & MCALOONE, 2017).
Processamento	O código de processamento aborda as funções analíticas, computacionais, de processar dados (PAGOROPOULOS, PIGOSSO & MCALOONE, 2017).
Identificação de padrões	O código de identificação de padrões representa a aplicação da análise na identificação de padrões de dados úteis ao negócio.
Tomada de decisão	O código de tomada de decisão enfatiza a geração de informações úteis aos gestores a partir da análise de dados.
Criação de valor	O código de criação de valor aborda a capacidade da empresa de criar atrativos em seus produtos ou serviços que atendam às expectativas dos clientes (OSTERWALDER, 2004).
Entrega de valor	O código de entrega de valor representa a capacidade das empresas de repassar ou comunicar o valor do produto ou serviço para os clientes (OSTERWALDER, 2004).
Captura de valor	O código de captura de valor expressa a retenção de parte do valor do produto ou serviço para si, na forma de ganho monetário (OSTERWALDER, 2004).
Cadeia de valor de baixo	O código cadeia de valor de baixo refere-se ao conjunto de atores da cadeia de suprimentos posicionados depois da oferta do produto ou serviço.
Parceiros	O código de parceiros expressa os stakeholders que contribuem

	para o negócio, mas não necessariamente posicionam-se na cadeia de suprimentos.
Cadeia de valor de cima	O código de cadeia de valor de cima refere-se ao conjunto de atores da cadeia de suprimentos posicionados antes da oferta do produto ou serviço.
Efeito ambiental	O código de efeito ambiental reflete os impactos proporcionados pela ação humana ao meio ambiente, sejam negativos (e.g. poluição) ou positivos (e.g. práticas sustentáveis).
Recursos naturais	O código de recursos naturais representa os elementos que compõem o meio ambiente, tais quais água, ar, flora, fauna e solo e seus materiais.
Uso eficiente de recursos	O código de uso eficiente de recursos trata dos modos de utilização dos recursos naturais em um produto, a exemplo da otimização, minimização, entre outros.
Substituição de recursos	O código de substituição de recursos expressa as ações de troca de recursos finitos por materiais renováveis, com o intuito de preservar o planeta.
Capital ambiental	O código de capital ambiental aborda a visão estratégica dos recursos naturais enquanto bens ou ativos fundamentais para o modelo de negócio, o que exige responsabilidade em sua utilização (sustentabilidade).
Empregabilidade	O código de empregabilidade reflete a geração de empregos em decorrência de condutas de negócios mais inclusivas e sustentáveis.
Trabalho decente	O código de trabalho decente atende às melhorias e qualificação do labor em virtude oportunidades em negócios sustentáveis.
Responsabilidade do produto	O código de responsabilidade do produto abarca as ações organizacionais de acompanhar o produto no ciclo pós-consumo e as medidas para reduzir seu impacto negativo na sociedade.
Articulação política	O código de articulação política trata das alianças e inter-relações com stakeholders para favorecer políticas e ações mais sustentáveis para um mercado.
Qualidade de vida	O código de qualidade de vida representa os processos e contextos relativos à saúde e bem-estar dos indivíduos perante os impactos ambientais.
Equidade	O código de equidade expressa a igualdade de gênero, de oportunidades e de direitos, assim como, no geral, a preservação dos direitos humanos.
Participação social	O código de participação social refere-se às iniciativas e movimentações de indivíduos e comunidades para opinar em decisões públicas (democracia).

Fontes: Pagoropoulos, Pigozzo e McAlloone (2017), Osterwalder (2004) e Elaboração própria (2021).

Como já mencionado, além dos códigos, os temas e temas principais também foram definidos, de forma a ser demonstrada pelo Quadro 14.

Quadro 14: Definições dos temas e temas principais.

Tema	Definição do tema	Tema principal	Definição do tema principal
Coleta de dados	O tema de coleta de dados representa a camada mais baixa da arquitetura de dados, das tecnologias voltadas para extração e coleta dos dados (PAGOROPOULOS, PIGOZZO &	Domínio tecnológico	O tema principal de domínio tecnológico trata do campo das tecnologias da informação

	MCALOONE, 2017).		
Integração de dados	O tema de integração de dados expressa a camada intermediária da arquitetura de dados, relativo às tecnologias de organização e transformação dos dados e das informações (PAGOROPOULOS, PIGOSSO & MCALOONE, 2017).		
Análise de dados	O tema de análise de dados aborda a camada superior da arquitetura de dados, próprias das tecnologias analíticas que, através da computação, processam os dados em informações (valor) úteis ao negócio ou usuários da tecnologia (PAGOROPOULOS, PIGOSSO & MCALOONE, 2017).		
Proposição de valor	O tema de proposição de valor adentra as maneiras com as quais um negócio promove valor para seus clientes (OSTERWALDER, 2004).		
Cadeia de valor	O tema de cadeia de valor expressa o sistema de atores e organizações de uma cadeia produtiva que transmitem valor entre si a partir da disponibilização ou comercialização de seus produtos e serviços. (PORTER, 1985).	Esfera econômica	O tema principal de esfera econômica aborda as áreas de negócios e cadeia produtiva, representando a perspectiva econômica do tripé da sustentabilidade
Meio ambiente	O tema de meio ambiente abrange o conjunto de objetos (recursos) e fenômenos (efeitos) que ocorrem no meio natural, ou a biosfera.		
Práticas sustentáveis	O tema de práticas sustentáveis relaciona as ações humanas alinhadas à economia circular e por conseguinte ao desenvolvimento sustentável.	Esfera ambiental	O tema principal de esfera ambiental adentra o campo do meio ambiente, representando a perspectiva ambiental do tripé da sustentabilidade
Responsabilidade laboral-comercial	O tema de responsabilidade laboral-comercial trata das ações para alinhar as relações trabalhistas e condutas de mercado ao desenvolvimento sustentável.		
Bem-estar e cidadania	O tema de bem-estar e cidadania contemplam os direitos fundamentais do ser humano.	Esfera social	O tema principal de esfera social refere-se à área das relações humanas, representando a perspectiva social do tripé da sustentabilidade

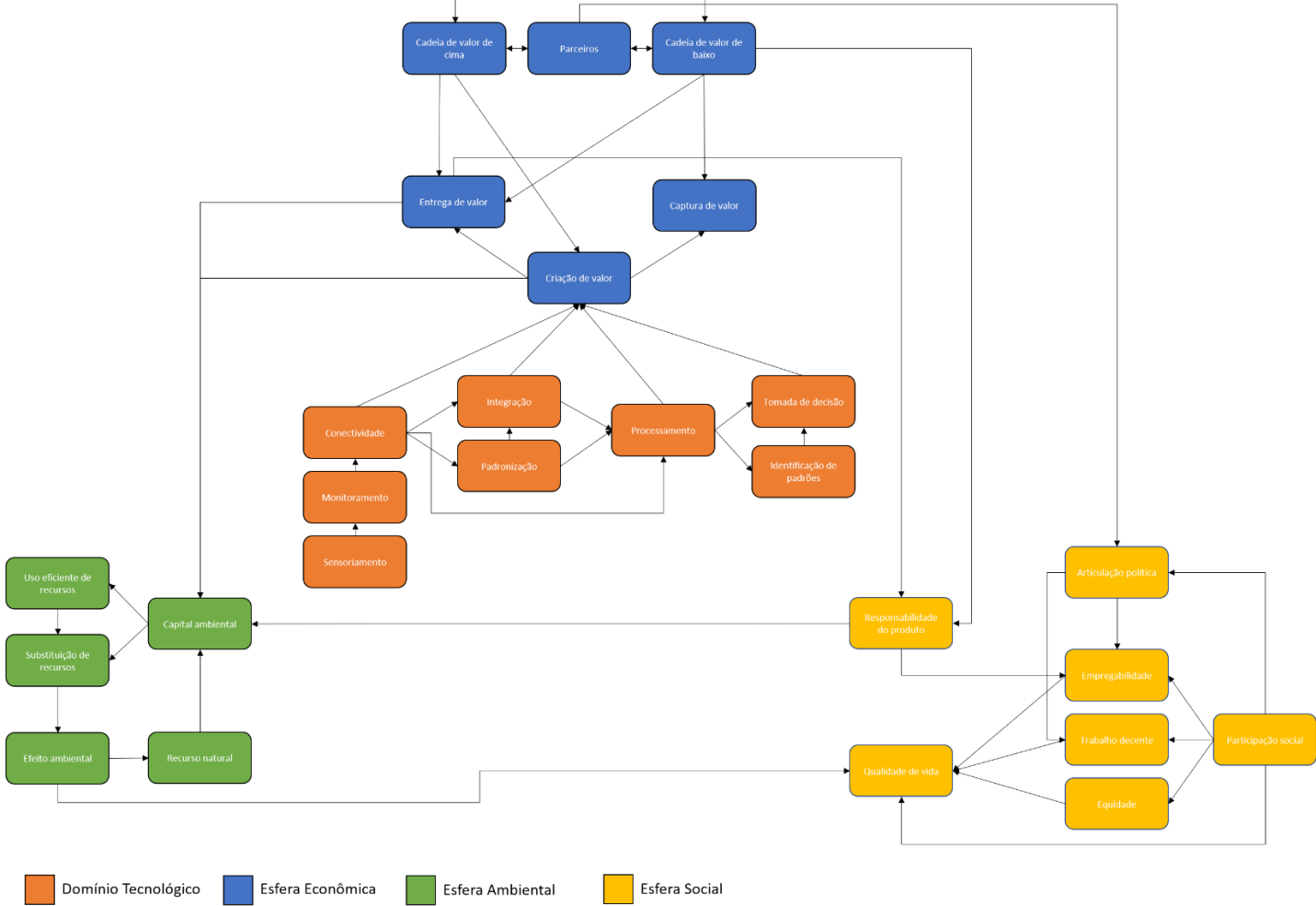
Fontes: Pagoropoulos, Pigozzo e McAloone (2017), Osterwalder (2004), Porter (1985) e

Elaboração própria (2021).

A partir da identificação e definição dos temas, passou-se para momento de compreensão das possíveis inter-relações dos códigos iniciais: a base para elaboração do *framework* conceitual.

O *framework* conceitual consiste em diagrama no qual os códigos estão indicados por caixas e entre eles, setas estabelecem suas relações. Inicialmente observou-se apenas as relações de causa ou influência direta, sendo posteriormente (na etapa de revisão) atribuído outras relações mais complexas. A Figura 8 apresenta o *framework* conceitual elaborado.

Figura 8: *Framework* conceitual.



Fonte: Elaboração própria (2021).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A seção de procedimentos metodológicos irá expor os critérios e procedimentos empregados na coleta e análise dos dados, sendo, portanto, parte de central do trabalho que compara as hipóteses e pressupostos da pesquisa aos objetivos, através dos achados e interpretações.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Tratando-se de uma pesquisa pautada sob dados textuais, valendo-se de conceituações, análises e interpretações para compreender o tema de estudo (CRESWELL, 2010), o presente trabalho é caracterizado pelo gênero de pesquisa qualitativa.

Dentro das metodologias qualitativas, foi adotado a análise temática enquanto técnica de análise dos dados. Análise temática é um método para identificar, analisar e comunicar padrões (descritos por temas) nos dados (BRAUN & CLARKE, 2006).

Este método assemelha-se a outras técnicas qualitativas no que diz respeito à codificação e procedimentos de manipulação dos dados, mas apresenta diferenças ao analisar os padrões emergentes (temas) de modo mais global (em contraponto à análise de conteúdo, que possui abordagem mais aprofundada nos dados) ou dispensar estruturas teóricas prévias para condução da pesquisa (como é necessário na *grounded theory*).

3.2 OBJETOS DA PESQUISA

Os dados da pesquisa são compostos de documentos sobre empresas de base tecnológica voltadas para o setor de reciclagem e gestão de resíduos. Tais companhias, também referidas como *startups*, enquadram-se no estudo ao modo de objetos da pesquisa.

A opção pelo setor de reciclagem e gestão de resíduos se deu devido ao alinhamento natural com a prática da economia circular, tendo em vista que por serem áreas da logística reversa, já lidam com a reintegração dos recursos na cadeia produtiva.

Quanto à escolha dos objetos, as *startups* são notórias pelo emprego de tecnologias da informação no modelo de negócio, o que facilita os objetivos da pesquisa. A seleção das empresas do estudo foi direcionada por buscas *online* em uma plataforma de *startups* (Startuptracker) e prosseguida com avaliações acerca da qualidade das informações sobre as empresas para definir a quantidade de objetos.

Dentro da Startuptracker, foram feitas buscas através de palavras-chave que envolvessem economia circular, reciclagem e gerenciamento de resíduos, as quais podem ser visualizadas a seguir no Quadro 15.

Quadro 15: Termos de busca na plataforma Startuptracker.

Numeração da busca	Termo(s) utilizado(s)	Número de empresas
1.1	“circular”	26
1.2	“circular” + “economy”	12
2.1	“recycling”	300
2.2	“recycle”	55
2.3	“tech” + “recycling”	14
3.1	“waste” + “management”	148
3.2	“smart” + “waste”	16
3.3	“tech” + “waste”	22

Fonte: Elaboração própria (2021).

Dentre os resultados existiram duplicatas, empresas que apareceram em mais de uma busca. Após eliminar estas duplicatas, o número inicial de empresas foi de 520 *startups*. A partir disso, iniciou-se o processo de filtragem das empresas, para averiguar quais tinham modelos de negócio e tecnologias da informação relevantes para a pesquisa.

A primeira parte (de quatro) desse processo consistiu em uma análise preliminar do *website* (disponível através da Startuptracker) de cada empresa e de seu modelo de negócio, cujo resultado culminou em 465 empresas descartadas, restando 55 para a segunda parte. Na parte seguinte do processo, foi realizada uma avaliação do modelo de negócio de cada empresa com base nas informações disponíveis no mesmo *website*, só que de modo mais aprofundado. Desta parte, 26 empresas não foram consideradas relevantes para o estudo, sobrando 28 *startups* remanescentes. Prosseguindo

para a penúltima parte, a qual objetiva analisar a confiabilidade de que a empresa é atuante ou não, o número de empresas decaiu para 25 em razão de 3 não estarem enquadradas nos critérios esperados. Por fim, a quarta e última etapa objetivou a procura por documentos, sejam notícias, entrevistas, relatórios, entre outros, para fornecer a base para a coleta de dados. Não se conseguiu encontrar documentos de 4 empresas, o que definiu, portanto, o número de objetos da pesquisa em 21 *startups*.

A título de elucidação, o Quadro 16 irá exibir de modo mais claro as informações mencionadas com os respectivos parâmetros de descarte de cada etapa e, além disso, a listagem integral das empresas que entraram na pesquisa, com seus respectivos endereços eletrônicos (página na Startuptracker e *website*), pode ser visualizada no Apêndice A.

Quadro 16: Etapas de filtragem.

Etapa de filtragem	Quantidade inicial de empresas	Empresas descartadas	Parâmetros para descarte
1. Análise preliminar do <i>website</i> e modelo de negócio	520	466	A análise preliminar do <i>website</i> e modelo de negócio busca constatar os seguintes fatores: (1) o <i>website</i> estava no ar e com arquitetura do tipo “Sobre nós; Serviços; Contato”? (2) a empresa é de fato do setor de reciclagem e/ou gerenciamento de resíduos? (3) há presença de alguma TIC nos serviços da empresa? Se apenas 1 desses fatores não for cumprido, a empresa será descartada.
2. Avaliação do modelo de negócio	54	26	Para a avaliação do modelo de negócio, analisa-se detalhadamente a relevância da TIC utilizada: é apenas mero sistema de informação ou aplicação inovadora? Envolve as tendências de tecnologias no momento (e.g. <i>blockchain</i> ; IoT; AI)? É algo ainda em fase preparatória ou já há clientes usufruindo o produto? Além disso, também é muito relevante que a empresa atenda exclusivamente aos setores da pesquisa e que a(s) TIC(s) envolva(m) todas as soluções ofertadas pela empresa. Estas perguntas

			norteiam a decisão de analisar o modelo de negócio como válido ou inválido para a pesquisa.
3. Análise dos critérios de confiabilidade	28	3	Já na análise dos critérios de confiabilidade, checam-se fatores como: (1) estrutura do <i>website</i> ; (2) fotos e vídeos da empresa / negócio; (3) matérias e notícias sobre a empresa; (4) redes sociais ativas; (5) participação em programas de fomento ou incubação, público ou privados, em redes de parcerias ou associações. Esses critérios ajudam na sustentação de que a empresa existe, é relevante e pode ser pesquisada.
4. Busca por documentos	25	4	Na busca por documentos, procurou-se, em plataforma <i>online</i> de buscas, por notícias que expusessem os serviços da empresa, seja na forma de matéria, entrevista ou case, dando preferência por jornais bem conceituados internacional, nacional ou regionalmente, bem como aqueles especializados em negócios, inovação, ou na área de reciclagem, e com datas recentes (no máximo até 2016). Além das notícias, esta etapa procura também por relatórios empresariais, em geral de balanço das atividades ou responsabilidade socioambiental. Não sendo encontrado nenhum documento, a empresa é retida do estudo.

Fonte: Elaboração própria (2021).

A título de elucidação, características como país, ano de fundação, faixa de funcionários e investimentos captados ajudam a entender o porte e a relevância da empresa para o estudo. Nesse sentido, o Quadro 17 apresenta a caracterização dos objetos da pesquisa.

Quadro 17: Caracterização dos objetos da pesquisa.

Empresa	País	Ano de fundação	Faixa de funcionários	Investimentos captados (em USD)
Antariksh	Índia	2017	1 a 10	42,8 mil
Aobag	China	2017	11 a 50	1,5 milhão
Bin-e	Polônia	2009	1 a 10	2,3 milhões
Brighterbins	Bélgica	2017	11 a 50	1,3 milhão

CleanRobotics	Estados Unidos	2015	1 a 10	550 mil
Compology	Estados Unidos	2013	51 a 100	37,8 milhões
Ecube Labs	Coréia do Sul	2011	51 a 100	8,24 milhões
Enevo	Finlândia	2010	51 a 100	55,4 milhões
Greyparrot	Reino Unido	2019	1 a 10	4,8 milhões
I Got Garbage ¹⁶	Índia	2013	9707 catadores parceiros	-
Lemon Tri ¹⁷	França	2011	75	-
Miniwiz	China (Taiwan)	2006	51 a 100	-
RecycleGO	Estados Unidos	2016	11 a 50	-
RecycleSmart	Canadá	2008	11 a 50	1,35 milhão
Recycle Track Systems	Estados Unidos	2015	51 a 100	51,7 milhões
RoadRunner Recycling	Estados Unidos	2014	101 a 250	84,1 milhões
Rubicon	Estados Unidos	2008	251 a 500	222,7 milhões
Sensoneo	Eslováquia	2014	11 a 50	-
Uzer	França	2014	1 a 10	386,2 mil
Waste Robotics	Canadá	2016	11 a 50	2,5 milhões
WastePlace	Estados Unidos	2016	11 a 50	-

Fontes: Crunchbase (c2021), I Got Garbage (2019) e Lemon Tri (c2021).

Considerando a média dos anos de fundação sendo 2013, essas informações destacam a tanto a emergência das empresas (por terem em média 8 anos de existência), quanto sua maturidade (por já atuar há alguns anos no mercado). Do lado financeiro, a média de investimentos captados chega a 31,6 milhões de dólares (USD), o que indica o nível de interesse no potencial dessas empresas ao inovar o setor de gestão de resíduos e reciclagem. Porém, o fator internacional é outra característica relevante. Mesmo tendo predomínio (62% da amostra) em regiões mais desenvolvidas do globo, ao modo da América do Norte (Estados Unidos e Canadá) e Europa Ocidental (Reino Unido, França e Bélgica), a amostra também conteve outras localidades, como regiões orientais da Europa (Eslováquia, Polônia e Finlândia) e a Ásia (China, Índia e Coréia do Sul).

De forma mais visual, a Figura 9 exhibe a distribuição geográfica das empresas, ressaltando o caráter internacional do estudo, a seguir.

¹⁶ O ano de fundação e a faixa de funcionários de I Got Garbage não estavam disponíveis na busca da Crunchbase, por isso tiveram que ser obtidas diretamente no *website* da empresa. Ainda, o *website* não mencionava o número de funcionários em si, mas a quantidade de catadores de lixo parceiros da plataforma.

¹⁷ As informações de ano de fundação e faixa de funcionários de Lemon Tri também não estavam disponíveis na busca da Crunchbase, por isso tiveram que ser obtidas diretamente em seu *website*.

As pesquisas com análise temática priorizam o sentido e significado dos temas que emergem como um todo, ao invés particularizar e identificar cada elemento de quem os produziu (SILVA, BARBOSA & LIMA, 2020).

Nesse sentido, a pesquisa reuniu 62 documentos, quase todos do tipo matéria jornalística, mas também com alguns relatórios. Os documentos do tipo matéria foram divididos pelos subtipos de notícia, entrevista e *blog* do site. Notícia seria a matéria jornalística propriamente dita, veiculada em jornal ou periódico. Já entrevista trata das matérias que ocorreram no formato homônimo, com interação de perguntas e resposta entre o entrevistador e algum membro da empresa. Quanto ao *blog* do site, este trata-se grosso modo de notícia, mas exposta pela equipe da empresa, no próprio *website*, sem passar por veículo de comunicação.

Acerca dos relatórios, estes podem ser de governança socioambiental, o qual ressalta a responsabilidade do negócio com o meio ambiente e a sociedade, mas também, de forma mais genérica, um relatório empresarial, que descreve o que a empresa faz, quais são seus produtos, onde está atuando, quem são os clientes, entre outras informações comerciais.

Foram utilizados em média 3 documentos por empresa para um conjunto de 21 empresas. O Quadro 18 resume o quantitativo de documentos do trabalho e por negócio.

Quadro 18: Tipos de documentos por empresa.

Empresa	Matéria			Relatório		Subtotal
	Notícia	Entrevista	Blog	ESG	Empresarial	
Antariksh	2					2
Aobag	2		1			3
Bin-e	2	1				3
Brighterbins	1		1			2
CleanRobotics	1	1				2
Compology	1		3			4
Ecube Labs	1	1	2			4
Enevo			3			3
Greyparrot	2		1			3
I Got Garbage	3					3
Lemon Tri	2		1			3

Miniwiz	1	1				2
RecycleGO	1	1	1			3
RecycleSmart	3					3
Recycle Track Systems	1	1		1		3
RoadRunner Recycling	3					3
Rubicon	1	1		1		3
Sensoneo	3				1	4
Uzer	3					3
Waste Robotics	4					4
WastePlace	2					2
Total	39	7	13	2	1	62

Fonte: Elaboração própria (2021).

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi conduzida com base na técnica de análise temática, a qual é um processo de codificação da informação qualitativa em uma série de padrões (entendidos por temas) dessas informações que minimamente descrevem e organizam as observações possíveis, e interpretam ao máximo os aspectos dos fenômenos (BOYATZIS, 1998).

Para Braun e Clarke (2006), a análise temática pode ser conduzida através de 6 etapas que envolvem a familiarização com os dados, geração de códigos iniciais, procura, revisão e definição de temas, e produção de relatório. Contudo, tais etapas sugeridas pelas autoras contemplam uma abordagem exclusivamente indutiva, ao passo que outras autoras (FEREDAY & MUIR-COCHRANE, 2006; NOWELL et al., 2017) abordam a importância de acrescentar elementos de caráter dedutivo às etapas da análise temática sob pretexto de incrementar o rigor metodológico e confiabilidade do tratamento dos dados. Em especial, os elementos de caráter dedutivo concernem à elaboração de estruturas teóricas prévias (*frameworks* conceituais) para gerar manual de códigos orientativos, úteis à codificação “inicial” nas fontes de dados da pesquisa.

Nesse sentido, o presente estudo seguiu *grosso modo* as etapas da análise temática destacadas por Braun e Clarke, mas com o incremento de um conjunto de códigos, subcategorias, categorias (temas e temas principais,

respectivamente) e *framework* conceitual, tudo oriundo de revisão da literatura. Além disso, recorreu-se ao *software* Atlas.ti para otimizar as etapas da análise de dados.

Além disso, é importante comentar sobre o processo de familiarização com os dados, a etapa inicial que todo pesquisador qualitativo se depara, conforme pode ser melhor entendido no próximo item.

3.4.1 Familiarização com os dados

A familiarização com os dados ocorreu durante as buscas pelas empresas que poderiam servir à pesquisa. À medida que empresas mais relevantes iam permanecendo na pesquisa após as etapas de filtragem, documentos sobre as mesmas iam igualmente sendo explorados. Assim, foi possível encontrar notícias, entrevistas e informes (em *blog* no próprio *website* das empresas), além de relatórios sobre a atuação do negócio.

Nesses documentos, foram efetuadas leituras preliminares para entender que contribuição esses materiais poderiam trazer em termos de respostas para os objetivos da pesquisa. Um teste de codificação foi realizado com uma matéria em *blog* no próprio *website* da *startup* britânica Greyparrot, no qual observou-se o aparecimento de códigos relacionados à tecnologia e suas funcionalidades, ao produto e o valor do negócio, assim como problemas socioambientais impeditores da economia circular e o motivo e visão do negócio.

Tais observações tornaram o autor mais sensível aos temas que poderiam surgir nos documentos da pesquisa, no sentido de ter uma visão mais aguçada para “o que os dados tem a contar” e aumentaram a confiança na relevância deste tipo de fonte de dados.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em continuação ao método da análise temática, esta seção de análise dos resultados visa, em si, aprofundar as informações dos procedimentos metodológicos de modo a esclarecer o problema e objetivos da pesquisa.

4.1 CODIFICAÇÃO

Valendo-se dos códigos e tema iniciais da literatura, junto com o *framework* conceitual, a análise temática prossegue para a codificação de fato dos dados da pesquisa, nos 62 documentos reunidos. É importante destacar que essa etapa possui um caráter recursivo pois, de forma geral, é o mesmo processo da fase prévia de geração de códigos na literatura, sendo que agora o trata-se realmente de uma etapa indutiva.

4.1.1 Codificação nos dados

Ao longo da codificação, pode-se perceber que o *framework* conceitual fazia sentido para as informações encontradas, ou seja, muito dos dados codificados estava em acordo com o que foi elaborado na codificação inicial. Todavia, aconteceram diferenças. 16 novos códigos emergiram e 2 códigos previstos na codificação inicial não apareceram. Outra questão foi que alguns códigos iniciais da literatura surgiram nesta codificação, mas trazendo uma compreensão mais ampla que exigiu posterior revisão das definições (a ser abordada na etapa seguinte). A seguir, o Quadro 19 mostra os códigos que surgiram e os que não apareceram.

Quadro 19: Códigos que surgiram ou não apareceram na codificação.

Novos códigos	Códigos que não apareceram
Barreira do negócio; Certificação; Conscientização empresarial; Covid-19; Desperdício de recursos; Estratégia circular; Ética empresarial; Interface; Legislação; Necessidade dos clientes; Perda de trabalho; Plataforma; Problema para a	Padronização; e Capital ambiental.

sustentabilidade; Redução sustentável de custos; Resistência à TI; e Transferência tecnológica.	
---	--

Fonte: Elaboração própria (2021).

Com isso, a etapa da codificação totalizou 40 códigos entre novos e da literatura, em uma abrangência de 349 citações nos 62 documentos da pesquisa. Entretanto, após a conclusão desse primeiro momento de codificação empírica, foi necessário reanalisar os códigos, em especial os novos, para checar como eles se alinham aos temas (captados desde a etapa da literatura). Essa reanálise pode remover ou unir códigos e temas, e será melhor comentada no próximo item.

4.1.2 Revisando, definindo e nomeando os temas

Dando continuidade às etapas de codificação, a revisão dos códigos pretendeu reorganizar os dados encontrados dentro das propostas de pesquisa do trabalho. Em primeiro momento, voltou-se aos trechos (citações) dos documentos que levantaram os novos códigos para avaliar melhor se eram pertinentes, isto é, algo realmente novo dentro do que foi trazido na literatura.

Determinados códigos novos possuíam relação tanto com outros códigos já levantados na literatura quanto outros novos códigos. Isso pode ser observado nos casos de “Barreira do negócio” que tinha relação com “Problema para a sustentabilidade”, ocorrendo então uma transferência de suas citações para este último. “Redução sustentável de custos” apresentou informações que com um olhar mais acurado, estavam contidas na ideia de “Uso eficiente de recursos”, já identificado pela literatura.

Ainda, surgiram códigos novos com acréscimo de informações, além do que tinha sido captado com a revisão da literatura. Dentro destes estão os códigos de “Covid-19”, que trouxe informações sobre a relação das tecnologias da informação e a economia circular no contexto da pandemia, “Estratégia circular”, o qual emergiu algumas estratégias da economia circular não específicas aos setores de reciclagem e gestão de resíduos, “Interface”, acerca da disposição de se acessar (interação humano-máquina ou humano-*software*)

a TI, e “Legislação”, que abordou as normas e questões jurídicas para atuar com os resíduos sólidos.

Contudo, os demais códigos empíricos (novos) surgiram com poucas expressões (1 ou 2) e não apresentaram relevância ao estudo, nem para serem mesclados a outros códigos. Por isso, os códigos de “Certificação”, “Conscientização empresarial”, “Desperdício de recursos”, “Ética empresarial”, “Necessidade dos clientes”, “Perda de trabalho”, “Plataforma”, “Resistência à TI” e “Transferência tecnológica” não foram aproveitados para o trabalho.

Portanto, o seguinte Quadro 20 sintetiza a revisão dos novos códigos, em termos de remoção e permanência no *corpus*, com a respectiva forma de aproveitamento (ou não).

Quadro 20: Encaminhamento da revisão dos novos códigos.

Novo código	Status perante o trabalho	Forma de aproveitamento
Barreira do negócio	Remoção	Mescla com Problema para a sustentabilidade
Certificação	Remoção	Sem aproveitamento
Conscientização empresarial	Remoção	Sem aproveitamento
Covid-19	Permanência	Integral
Desperdício de recursos	Remoção	Sem aproveitamento
Estratégia circular	Permanência	Integral
Ética empresarial	Remoção	Sem aproveitamento
Interface	Permanência	Integral
Legislação	Permanência	Integral
Necessidade dos clientes	Remoção	Sem aproveitamento
Perda de trabalho	Remoção	Sem aproveitamento
Plataforma	Remoção	Sem aproveitamento
Problema para a sustentabilidade	Permanência	Integral
Redução sustentável de custos	Remoção	Mescla com Uso eficiente de recursos
Resistência à TI;	Remoção	Sem aproveitamento
Transferência tecnológica	Remoção	Sem aproveitamento

Fonte: Elaboração própria (2021).

Os novos códigos que permaneceram no trabalho se juntaram à revisão dos códigos já contemplados no *framework* conceitual, passando então a sofrerem alterações na denominação original, além das definições que ainda precisavam ser elaboradas. Estes pontos serão comentados mais adiante.

Então, na etapa de revisão dos códigos do *framework* conceitual, “Identificação de padrões”, “Cadeia de valor de cima” e “Cadeia de valor de

baixo” tiveram alterações em suas denominações e conseqüentemente em suas definições.

“Identificação de padrões” foi renomeado para “Previsibilidade”, em razão de que as citações desse código tratavam mais do processo da TI em fornecer previsões de dados para o negócio e não necessariamente a identificação dos padrões, embora isso fosse um fator que possa compor a previsão de dados. Em outras palavras, a tecnologia pode identificar padrões nos dados e se limitar a isto ou apresentar um pouco mais de sofisticação e traduzir essa identificação na forma de uma previsão para os usuários. Quanto à definição, a versão alterada será exibida no Quadro 21.

Em relação à “Cadeia de valor de cima” e “Cadeia de valor de baixo”, estes códigos foram mesclados, originando o código “Participantes do negócio”. Esta mescla ocorreu principalmente pela constatação de que muitas das empresas do estudo operam em uma lógica de economia compartilhada e disponibilizam várias soluções (produtos), o que permite que um prestador de serviço (uma pequena cooperativa de logística, por exemplo) seja em determinadas situações o cliente e em outra o fornecedor.

Exemplificativamente, se uma empresa oferece para um município um serviço descentralizado (através de plataforma) de coleta do lixo a partir de transportadores independentes, do ponto de vista do negócio estes integrariam a plataforma como prestadores de serviço (mais assemelhados a um fornecedor), enquanto que o município seria o cliente (quem paga, inclusive). Porém, a mesma empresa pode ofertar na mesma plataforma outros serviços que sirvam para os transportadores independentes, como uso compartilhado de equipamentos (veículos, tonéis, etc.) e sistema de gestão para o caso de ganharem serviços em cidades não atendidas pela plataforma da empresa. Assim, os transportadores seriam clientes na perspectiva desses outros serviços.

Outro ponto, ainda sobre os códigos de cadeia de valor é que a denominação original estava com uma leve inadequação, pois o termo correto seria sistema da cadeia de valor. De acordo com Porter (1985) a cadeia de valor é o conjunto de atividades da organização, e assim concentradas nesta, enquanto que o sistema da cadeia de valor é, de fato, a ligação entre as diversas cadeias de valores (organizações) no escopo de uma cadeia

produtiva. Como a mescla dos códigos já seria feita, não houve necessidade de retificar a denominação.

Os códigos de “Parceiros”, “Responsabilidade do produto” e “Participação social” sofreram alterações na definição. Basicamente a mudança no código “Parceiros” ocorreu para enfatizar a forma com a qual as organizações parceiras contribuem para o negócio, algo que percebido na codificação empírica. Já “Responsabilidade do produto” teve seu sentido ampliado para as práticas de conscientização dos consumidores, outro ponto emerso da codificação. Por fim, “Participação social” também teve seu sentido ampliado em função de que a definição original estava muito restrita à participação de práticas democráticas (assembleia, votação, decisões comunitárias), sendo que os dados trouxeram o panorama do engajamento em prol do desenvolvimento sustentável, que não deixa de ser uma participação em sociedade.

Ademais, incluindo os novos códigos nesta revisão, “Covid-19”, “Estratégia circular” e “Legislação” foram renomeados, passando a serem denominados por “Adaptação à pandemia”, “Modelo circular alternativo” e “Legislação ambiental”, respectivamente.

Quanto aos temas, houveram alterações nos temas de “Integração dos dados” e “Cadeia de valor”. O tema da “Integração dos dados” era composto inicialmente pelos códigos de “Integração” e “Padronização”, sendo que este último não surgiu na codificação empírica. Analisando a definição do tema, entendeu-se a ligação deste com o novo código de “Interface”. Nesse processo, o tema sofreu algumas readequações, passando a ser referido por “Interação e integração de dados”.

Com relação ao tema de “Cadeia de valor” (que deveria ser sistema da cadeia de valor como informado anteriormente), em sua reanálise foi constatado que o tema mais direto seria simplesmente os *stakeholders*. Por isso, o tema ficou denominado de “Stakeholders”.

Por fim, com a inclusão dos códigos de “Adaptação à pandemia” e “Modelo circular alternativo”, um novo tema foi identificado, o qual foi denominado por “Diferenciação”, relativo às ações que diferenciam um negócio, seja para superar uma crise ou ter estratégia diferente.

Tendo em vista que a revisão não identificou necessidade de alteração para os temas principais, o Quadro 21 exibe o *corpus* definitivo de códigos, temas e temas principais do trabalho, aquele a ser utilizado para a análise dos resultados e resposta aos objetivos da pesquisa.

Quadro 21: *Corpus* definitivo de códigos, temas e temas principais.

Código	Definição do código	Tema	Definição do tema	Tema principal	Definição do tema principal
Sensoriamento	O código de sensoriamento expressa as informações relativas às tecnologias que utilizam sensores para captar dados.	Coleta de dados	O tema de coleta de dados representa a camada mais baixa da arquitetura de dados, das tecnologias voltadas para extração e coleta dos dados.	Domínio tecnológico	O tema principal de domínio tecnológico trata do campo das tecnologias da informação.
Monitoramento	O código de monitoramento aborda as funções da TI voltadas para o acompanhamento de recursos ao longo dos processos e/ou cadeia produtiva.				
Conectividade	O código de conectividade representa as tecnologias que realizam múltiplas interações com outras tecnologias e objetos informatizados.				
Integração	O código de integração adentra as funções de integrar diferentes formatos de dados em um único específico.	Interação e integração de dados	O tema de interação e integração de dados expressa os processos de adaptação dos dados para a interação pessoa-software, assim como a camada intermediária da arquitetura de dados, relativa às tecnologias de organização e transformação dos dados e das informações.		
Interface	O código de interface expressa os meios, canais, aparelhos, <i>dashboards</i> utilizados na interação pessoa- <i>software</i> .				
Processamento	O código de processamento aborda as funções analíticas, computacionais, de processar dados.	Análise de dados	O tema de análise de dados aborda a camada superior da arquitetura de dados, próprias das tecnologias analíticas que, através da computação, processam os dados em informações (valor) úteis ao negócio ou usuários da		
Previsibilidade	O código de previsibilidade representa o processamento analítico com base no padrão dos dados para gerar previsões e estimativas futuras.				
Tomada de decisão	O código de tomada de decisão enfatiza a geração de informações úteis				

	aos gestores a partir da análise de dados.		tecnologia.		
Criação de valor	O código de criação de valor aborda a capacidade da empresa de criar atrativos em seus produtos ou serviços que atendam às expectativas dos clientes.	Proposição de valor	O tema de proposição de valor adentra as maneiras com as quais um negócio promove valor para seus clientes.	Esfera econômica	O tema principal de esfera econômica aborda as áreas de negócios e cadeia produtiva, representando a perspectiva econômica do tripé da sustentabilidade.
Entrega de valor	O código de entrega de valor representa a capacidade das empresas de repassar ou comunicar o valor do produto ou serviço para os clientes.				
Captura de valor	O código de captura de valor expressa a retenção de parte do valor do produto ou serviço para si, na forma de ganho monetário.				
Participantes do negócio	O código de participantes do negócio refere-se ao conjunto de empresas, sejam clientes, distribuidores, fornecedores ou prestadores de serviço, relacionadas à cadeia de valor do negócio.	Stakeholders	O tema de stakeholders expressa o sistema de atores e organizações envolvidos na indústria que influenciam a cadeia de valor do negócio.		
Parceiros	O código de parceiros expressa as organizações que contribuem para o negócio na forma de capital intelectual, apoio social ou financeiro, e experimentação de produtos.				
Adaptação à pandemia	O código de adaptação à pandemia reflete os impactos e consequentes reações das empresas frente à pandemia de covid-19.	Diferenciação	O tema de diferenciação aborda a incorporação de medidas para superar crises e diferenciar a estratégia da empresa.		
Modelo circular alternativo	O código de modelo circular alternativo trata das estratégias de economia circular (Lewandovski, 2016) não específicas aos setores de reciclagem e gestão de resíduos, mas utilizadas por empresas desses setores.				

Efeito ambiental	O código de efeito ambiental reflete os impactos proporcionados pela ação humana ao meio ambiente, sejam negativos (e.g. poluição) ou positivos (e.g. práticas sustentáveis).	Meio ambiente	O tema de meio ambiente abrange o conjunto de objetos (recursos) e fenômenos (efeitos) que ocorrem no meio natural, ou a biosfera.	Esfera ambiental	O tema principal de esfera ambiental adentra o campo do meio ambiente, representando a perspectiva ambiental do tripé da sustentabilidade.
Recursos naturais	O código de recursos naturais representa os elementos que compõem o meio ambiente, tais quais água, ar, flora, fauna e solo e seus materiais.				
Legislação ambiental	O código de legislação ambiental retrata as regulamentações para realizar o manejo e tratamento de resíduos sólidos.				
Uso eficiente de recursos	O código de uso eficiente de recursos trata dos modos de utilização dos recursos naturais em um produto, a exemplo da otimização, minimização, entre outros.	Práticas sustentáveis	O tema de práticas sustentáveis relaciona as ações humanas alinhadas à economia circular e por conseguinte ao desenvolvimento sustentável.		
Substituição de recursos	O código de substituição de recursos expressa as ações de troca de recursos finitos por materiais renováveis, com o intuito de preservar o planeta.				
Problema para a sustentabilidade	O código de problemas para a sustentabilidade ressalta as dificuldades de ordem econômica ou social para implementar práticas de desenvolvimento sustentável.				
Empregabilidade	O código de empregabilidade reflete a geração de empregos em decorrência de condutas de negócios mais inclusivas e sustentáveis.	Responsabilidade laboral-comercial	O tema de responsabilidade laboral-comercial trata das ações para alinhar as relações trabalhistas e condutas de mercado ao desenvolvimento sustentável.	Esfera social	O tema principal de esfera social refere-se à área das relações humanas, representando a perspectiva social do tripé da sustentabilidade.
Trabalho decente	O código de trabalho decente atende às melhorias e qualificação do labor em virtude oportunidades em negócios sustentáveis.				
Responsabilidade	O código de responsabilidade do				

do produto	produto abarca as ações organizacionais de acompanhar o produto no ciclo pós-consumo, buscando reduzir seu impacto negativo na sociedade, e de conscientização dos consumidores				
Articulação política	O código de articulação política trata das alianças e inter-relações com <i>stakeholders</i> para favorecer políticas e ações mais sustentáveis para um mercado				
Qualidade de vida	O código de qualidade de vida representa os processos e contextos relativos à saúde e bem-estar dos indivíduos perante os impactos ambientais				
Equidade	O código de equidade expressa a igualdade de gênero, de oportunidades e de direitos, assim como, no geral, a preservação dos direitos humanos	Bem-estar e cidadania	O tema de bem-estar e cidadania contemplam os direitos fundamentais do ser humano.		
Participação social	O código de participação social refere-se às iniciativas e movimentações de indivíduos e comunidades para opinar em decisões públicas (democracia) e se engajar em ações em prol do desenvolvimento sustentável				

Fonte: Elaboração própria (2021).

4.1.3 Framework final

Em complemento ao *corpus* definitivo da codificação, tem-se o *framework* final do trabalho, o qual pode ser visualizado logo a seguir, na Figura 10.

O *framework* final é a ferramenta de orientação conceitual para a interpretação e análise dos resultados obtidos com a análise temática, sendo assim uma extensão desta. [falar que é um achado do trabalho]. Mais especificamente, a última etapa da análise temática, produzindo o relatório, será demasiadamente baseada nesta estrutura.

A Figura 10 apresenta os códigos do *corpus* definitivo do trabalho, em que há a divisão por cores para cada tema principal do estudo. O *display* foi arranjado de modo a simular o tripé da sustentabilidade, mas enfatizando as tecnologias da informação no centro em alusão aos objetivos da pesquisa.

Para tanto, foram atribuídos 4 tipos de relações entre os códigos, com base nos rótulos preexistentes do *software* Atlas.ti (FRIESE, 2014): “Causa”, “Pode causar”, “Está associada” e “É parte de”. O Quadro 22 apresenta e explica o significado de cada tipo de relação entre os códigos, a seguir.

Quadro 22: Tipos de relações entre os códigos.

Tipo	Definição	Exemplo
Causa	Indica toda relação direta, em que um código sempre influenciará a ação ou existência de outro.	Ligação 18: entre “Criação de valor” e “Entrega de valor”. A criação de valor desencadeia a necessidade de entregá-lo para os clientes.
Pode causar	Aborda a relação que é eventualmente direta, em geral por depender de outros fatores ou condições para exercer influência no outro código.	Ligação 05: entre “Conectividade” e “Integração”. Quando a conexão de múltiplos objetos e outras tecnologias ocasiona traz diferentes formatos e linguagens dos dados, há a necessidade de integrá-los em único padrão.
Está associada	Trata da relação entre códigos que possuam algum tipo de semelhança, subespecificação ou envolvimento, mas de forma indireta.	Ligação 35: entre “Efeito ambiental” e “Legislação ambiental”. As leis e normas não necessariamente produzem ou aumentam os recursos naturais de forma direta, mas conseguem normatizar a ação humana para impactar menos tais recursos.
É parte de	Representa a relação em que um código é um componente ou elemento parcial para o outro.	Ligação 15: entre “Interface” e “Entrega de valor”. Ao ofertar serviços tecnológicos, a entrega do valor para os clientes invariavelmente abarca <i>displays</i> de <i>software</i> , em diversos tipos de aparelhos. Entretanto, não se limita a isso, ocorrendo também a entrega através de elementos como <i>marketing</i> , equipe de vendas, eventos, etc.

Fonte: Adaptado de Friese (2014).

Tendo explanado sobre os tipos de relações entre os códigos, torna-se pertinente expor a listagem completa das relações, a qual segue a ordem das numerações do *framework* final.

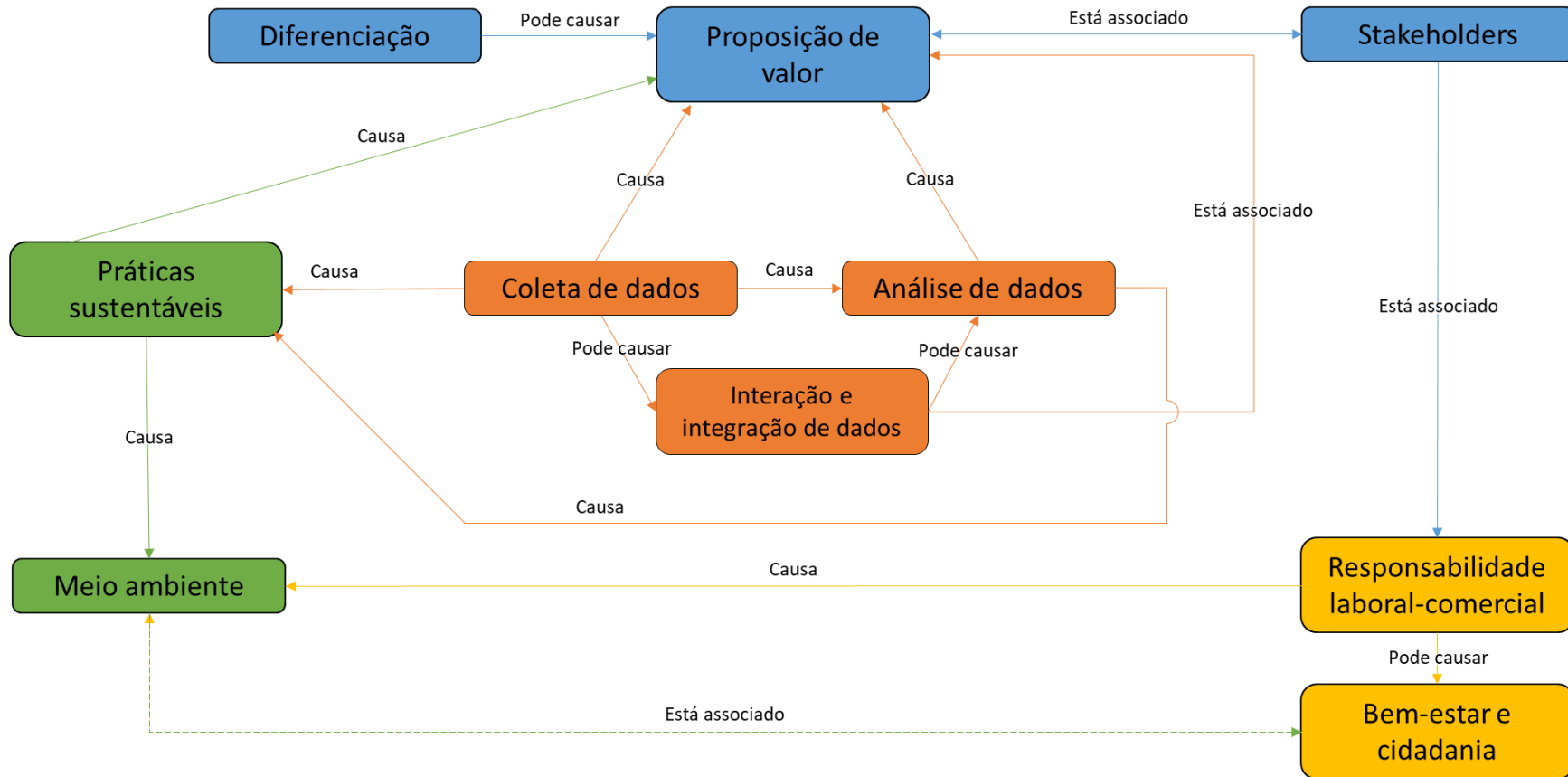
Quadro 23: Listagem das relações entre códigos do *framework* final.

Numeração da relação	Tipo de relação	Numeração da relação	Tipo de relação
01	Causa	24	Pode causar
02	Causa	25	Está associado
03	Causa	26	Está associado
04	Causa	27	É parte de
05	Pode causar	28	Está associado
06	Pode causar	29	Está associado
07	Está associado	30	Pode causar
08	Está associado	31	Causa
09	É parte de	32	Causa
10	Está associado	33	Causa
11	É parte de	34	Causa
12	Causa	35	Está associado
13	Causa	36	Está associado
14	Causa	37	É parte de
15	É parte de	38	Está associado
16	Causa	39	Causa
17	Causa	40	Pode causar
18	Causa	41	Está associado
19	Causa	42	Causa
20	Causa	43	Causa
21	É parte de	44	Causa
22	Está associado	45	Está associado
23	Pode causar	46	Causa

Fonte: Elaboração própria (2021).

Neste trabalho o *framework* final é mantido com a exibição de todos os códigos para dar maior detalhamento das informações. Entretanto, é percebido que a quantidade de códigos atrela uma diversidade de ligações, tornando o *framework* final complexo. Nesse sentido, também foi elaborado o *framework* final temático, o qual é o mesmo instrumento, porém, exibindo somente as ligações entre os temas no seu *display*, com o intuito de sintetizar e tornar mais compreensível a lógica do estudo. A Figura 11 irá apresentar o *framework* final temático, a seguir.

Figura 11: *Framework* final temático.



Fonte: Elaboração própria (2021).

4.1.4 Produzindo o relatório

Em conclusão à análise temática, a etapa de produzir o relatório pressupõe fazer o apanhado de todos os temas levantados e averiguar como a relação entre eles apoia ou não os objetivos da pesquisa, através de interpretação, argumentação e inferência.

Por se tratar, então, de fase mais dissertativa, com parágrafos mais extensos, os conteúdos relativos ao “relatório” serão expostos nos próximos itens de forma mais organizada.

4.2 LIGAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO NA PROPOSIÇÃO DE VALOR

Em primeiro momento a análise será concentrada nos resultados acerca da proposição de valor, com o intuito de verificar a relevância das evidências que surgiram na pesquisa entre a relação das tecnologias da informação e os elementos da proposição de valor – criação, entrega e captura. Por isso, esta subseção será explanada conforme cada um desses elementos.

4.2.1 Criação de valor

As informações identificadas na análise temática demonstram que a criação de valor nas empresas da pesquisa começa a partir da geração de dados e evolui para outros benefícios consequentes, como a otimização, eficiência, monitoramento e automatização de processos.

Tais benefícios são traduzidos por ações, como o planejamento de rotas de coleta melhores, o encontro mais ágil de prestadores de serviços, a obtenção de preços mais em conta, a simplificação de questões contratuais, a mensuração da quantidade de resíduos dentro de cada lixeira, a previsão de quando uma lixeira deve ser coletada, e a automação da separação de resíduos.

No que diz respeito à geração de dados, evidentemente destaca-se o tema da Coleta de dados na figura, em especial, dos códigos de Sensoriamento e Monitoramento. O que pôde ser observado no estudo é que

tecnologias de sensores – dentro de uma lógica de *internet* das coisas – conseguem retirar dados antes impensáveis nessa indústria, como saber o volume de resíduos dentro de cada lixeira e a predominância dos tipos de materiais. Após a coleta desses dados, é possível rastrear o fluxo e quantidade dos resíduos, habilitando funções de otimização e eficiência das rotas de coleta, bem como a porcentagem de resíduos que realmente estão indo para a reciclagem.

Alguns trechos *in vivo* corroboram com essa visão, como estes da empresa Compology, primeiramente dentro do código de Monitoramento:

“O sistema da Compology funciona ao usar sensores baseados em câmeras, em combinação com GPS, para monitorar remotamente a localização, preenchimento e o serviço em tempo real [...]”

(COMPOLOGY, 2017; tradução nossa)

E outro relativo ao código de Criação de valor:

“[...] o que realmente diferencia Compology, e porque nós escolhemos trabalhar com eles, é a sua capacidade de realmente mostrar o que está dentro do container remotamente, [...]”

(COMPOLOGY, 2017; tradução nossa)

Outra forma de criação de valor é percebida também a partir do processamento da informação em análises úteis à tomada de decisão ou à automação de processos. Nesse escopo, a tecnologia de inteligência artificial e seus correlatos (*machine learning*, *deep learning*, reconhecimento de imagens) conseguem tanto aumentar a eficiência dos processos, quanto fornecer ricas previsões e insights para os gestores.

Exemplificativamente, alguns códigos da empresa Greyparrot ilustram esse raciocínio, primeiro sob o código de Processamento:

“A empresa tem utilizado *machine learning* com imagens de diferentes tipos de resíduos para treinar um modelo que detecta vidro, papel, papelão, jornais, latas e diferentes tipos de plásticos (*black trays*, PET, HDPE)”

(DILLET, 2019; tradução nossa)

E em seguida pelo código de Tomada de decisão

“O sistema automaticamente identifica tipos diferentes de resíduos, fornecendo informações compostas e análises para ajudar as instalações a aumentarem suas taxas de reciclagem.”

(PRITCHARD, 2020; tradução nossa)

Todavia, deve ser notado que as aplicações da tecnologia nesse contexto da economia circular, conseguem criar valor, na verdade, em função do uso mais eficiente dos recursos. A rigor, todas as informações geradas pelo monitoramento e processamento dos dados conflui, por exemplo, para um uso menor de combustível na questão da melhoria de rotas de coleta ou menos horas de tempo (energia e mão de obra) para separar os resíduos.

Essa confluência é que está mais claramente alinhada aos conceitos teóricos sobre criação de valor para a economia circular (V. Quadro 6), ao exemplo da desmaterialização de processos (CENTOBELLI et al., 2020) e da minimização de recursos (LÜDEKE-FREUND, GOLD & BOCKEN, 2018). Entretanto, levando em conta a contribuição dos dados da pesquisa, demonstra ser pertinente incluir expressões como “por meio de estratégias de sensoriamento e monitoramento” ou “através da digitalização dos dados” nas conceituações da criação de valor para a economia circular.

Por fim, também é importante mencionar que as tecnologias *web* e *mobile* possibilitam a oferta de negócios via plataformas, trazendo benefícios como a aquisição de serviços de forma mais rápida e/ou simples – fatores que pode reduzir o preço, inclusive.

4.2.2 Entrega de valor

No contexto da entrega de valor, os dados sugerem que o valor criado chega até os clientes através de uma interação via máquina ou *software* (aplicativo ou plataforma).

Empresas que possuem os cidadãos enquanto usuários finais, possuindo produtos como *smart bins* ou *smart machines*, tendem a considerar

mais os recursos de interface ligados à interação humano-máquina (*touchscreen, display* etc.), e por isso envolvem algum tipo de recompensa para estimular o uso. No caso da Aobag que otimiza a coleta residencial através de sacolas inteligentes, o valor (recompensa) chega quando o cidadão entra em contato com uma de suas estações:

“Você compra uma sacola especial com um código QR do aplicativo, coloca lixo como papelão e plástico nela, coloca na instalação, solicita a coleta no aplicativo e, quando o fornecedor coletar, o dinheiro será transferido.”

(YAMATANI, 2019)

Em paralelo, pode-se perceber como o código de Interface contribui para o de Entrega de valor, exposto anteriormente:

“Se você olhar para os aplicativos de classificação de lixo desses miniprogramas, eles geralmente têm uma explicação de classificação de lixo e uma janela de pesquisa, e quando você insere o nome do lixo na janela de pesquisa, ele dirá em qual lixeira colocá-lo”

(YAMATANI, 2019)

Enquanto que empresas com lógica mais *business to business*, privilegiam ainda interface de suas plataformas e *softwares* na entrega de valor, pois é lá onde todas as soluções ofertadas podem ser acessadas. Inclusive, evidencia-se a condição da *cloud computing* em proporcionar o acesso remoto à plataforma.

Tal situação pode ser observada no caso da Sensoneo, em um código de Interface:

“[...] e envia os dados para *Smart Waste Management System*, uma poderosa plataforma baseada em nuvem, via *internet* das coisas (Sigfox, NB-IoT, LoRaWAN, GPRS). O *dashboard* na *Smart Waste Management System* oferece um detalhado inventário de lixeira, mapa digital interativo, configuração de sensor, *display* de dados ao vivo [...]”

(SENSONEO, 2020; tradução nossa)

Do ponto de vista do referencial teórico, a entrega de valor observada na pesquisa está alinhada à descrição de Lewandowski (2016), apresentada no Quadro 6, a qual comenta que uma proposta de valor pode ser entregue de modo virtual através de canais online de venda ou contato com o cliente.

No mais, outros mecanismos de entrega mais convencionais e comerciais, como equipe de vendas ou *marketing*, foram muito pouco observados nos dados e além disso não representam também o foco do estudo por praticamente não envolverem tecnologias da informação emergentes, ao modo das mencionadas nos parágrafos passados.

4.2.3 Captura de valor

A captura de valor apresenta modos de como as empresas retêm a entrega de valor em forma monetária. Em geral, os dados levantaram modos como contratos (de curto ou longo prazo), mas também assinaturas – práticas até certo ponto comuns para empresas de tecnologia. Por isso, a captura de valor não é o elemento da proposição de valor mais influenciado pelas tecnologias da informação.

Entretanto, é pertinente mencionar que o valor capturado pelas empresas do estudo é, *grosso modo*, em virtude de dados fornecidos, indo além da prestação de serviços. Por mais que IoT ou *machine learning*, por exemplo, não atuem diretamente na captura de valor, é em função destas tecnologias que nos setores de gestão de resíduos e reciclagem começou-se a pagar por dados, onde antes pagava-se exclusivamente por serviços.

A título de descrição, pode-se observar uma citação da empresa Rubicon, dentro do código de Captura de valor:

“[*Software* como assinatura] é o que vai ser o foco predominante de como nós cresceremos no futuro,’ CEO Nate Morris falou ao *WasteDive* mais cedo nesse mês durante a *WasteExpo*, citando uma acumulação de escala, relacionamentos e dados enquanto ativos-chave para alavancar.”

(ROSENGREN, 2019; tradução nossa)

Com base na literatura, os dados da pesquisa sugerem uma relação maior com a noção de captura de valor para a economia circular descrita por Lüdeke-Freund, Gold e Bocken (2018), no que concerne às práticas de preço premium e baseado em serviços (V. Quadro 6).

4.3 PROPOSIÇÃO DE VALOR E OS SISTEMAS ECONÔMICO, AMBIENTAL E SOCIAL

A abordagem sistêmica aqui consiste nas inter-relações entre os temas principais do estudo que refletem o tripé da sustentabilidade – esferas econômica, ambiental e social –, entendidos enquanto sistemas. A base destas inter-relações espelha-se nas informações já produzidas pela pesquisa no que concerne ao material do *framework* final. Este instrumento é o modelo que representa a abordagem sistêmica da pesquisa, cabendo aqui os comentários e inferências para favorecer o entendimento. Portanto, esta etapa evidenciará como a proposição de valor (discorrida no item prévio) comunica-se sistemicamente com os elementos do tripé da sustentabilidade.

4.3.1 Sistema econômico

O sistema econômico possui uma condição peculiar em relação à proposição de valor, pois no âmbito deste trabalho, esta já foi inserida neste mesmo campo. Isso ocorreu em função de que a proposição de valor explicita a lógica de funcionar ou existir das empresas, cuja consequência alonga-se para as cadeias produtivas e, por fim, ao que denominamos de sistema econômico.

Dessa forma, a proposição de valor necessariamente interage com os Participantes do negócio e Parceiros, o que nada mais é do que os clientes, fornecedores, prestadores de serviços e organizações que apoiam o negócio. Porter (1985) descreveria esse contexto enquanto o sistema da cadeia de valor, em que as inúmeras empresas de uma indústria conectam suas atividades de modo que o valor proposto por uma (fornecedora, por exemplo) influencia a criação de valor por outra. O mesmo pode ser atribuído para influências na entrega e captura de valor.

Além disso, os dados trouxeram a perspectiva de que são os Participantes do negócio e Parceiros que favorecem práticas ligadas à Responsabilidade do produto e Articulação política, o que denota um elo intersistêmico. Em contexto de negócios inseridos na economia circular, estas iniciativas fazem a diferença para reduzir as barreiras inerentes aos negócios sustentáveis, seja por custo, aceitação do público ou regulamentação ambiental.

4.3.2 Sistema ambiental

Com vistas à Esfera ambiental, o ponto central deste sistema é o Efeito ambiental, pois se refere ao que a atividade humana interfere nos Recursos ambientais, seja positiva ou negativamente (em maior escala este último).

A proposição de valor demonstrou que a Criação de valor perpassa o Uso mais eficiente de recursos e que, conseqüentemente, causa impacto positivo ao meio ambiente, por consumir menos (princípio da economia circular). Muito desta parte inclusive apresenta relações com as tecnologias da informação, principalmente na figura dos processos de Monitoramento e Processamento.

Em paralelo, cabe mencionar que a economia circular não intenta a proteção máxima ou a menor interferência possível do Homem na Natureza, como em algumas ideologias, mas sim manter o processo produtivo – necessário ao desenvolvimento das cidades e países – em compasso com o equilíbrio natural.

O sistema ambiental também é contribuído pela proposição de valor por uma via mais longa, decorrente da Responsabilidade do produto. Os Participantes do negócio, quando se empenham em manter o valor gerado por um produto ou serviço alinhado à sustentabilidade, seja por meio do acompanhamento pós-consumo ou – mais no escopo do estudo – da conscientização para ajudar na coleta e reciclagem de resíduos, conseguem promover um Efeito ambiental positivo, em geral pela diminuição de áreas destinadas a aterros (sanitários ou não) e redução da extração de matérias prima naturais em consequência do estímulo à oferta de matéria-prima reciclada.

4.3.3 Sistema social

Sobre a Esfera social, está possui relação com a proposição de valor através da Responsabilidade do produto e da Articulação política, como comentado nos itens anteriores. No contexto desse sistema, a Articulação política é elo que predispõe a Responsabilidade do produto. E o ponto de destaque aqui é a ligação da Responsabilidade do produto com a Qualidade de vida. Além de efeitos positivos para o meio ambiente, o cuidado com o impacto dos produtos no meio ambiente reflete em condições de saúde melhores à população e bem-estar.

Por outro lado, também foi identificado que os Parceiros, dentro de suas atividades de fomentar e contribuir com negócios mais circulares, também incentivam a Empregabilidade, no que diz respeito a contratação de pessoas não apenas como “ativos” (visão do *homo economicus*), mas sim como indivíduos que também fazem parte deste planeta e merecem atenção e orientação, para que os benefícios da sustentabilidade sejam alcançados. Em outras palavras, os funcionários são uma vertente para qualquer empresa influenciar a sociedade – ponto que retrata também a ligação da Empregabilidade com o Trabalho decente e Equidade –, mas este veio aparenta ser mais explicitamente explorado nas empresas que tem a proposição de valor alinhada à economia circular, e à sustentabilidade de forma geral.

Por último, embora não necessariamente sendo uma causa da proposição de valor, a Participação social expõe uma ligação intersistêmica com a Esfera ambiental, tanto para a questão do Problema para a sustentabilidade, quanto mutuamente para o Efeito ambiental. O engajamento das pessoas é uma ferramenta para reverter situações que estejam atrapalhando os negócios circulares. Assim, a mobilização de indivíduos pode facilitar o entendimento dos benefícios sobre um produto ou serviços e ajuda na aceitação deste se por ventura tiver um preço mais encorpado. Enquanto que para o Efeito ambiental, o papel da “voz” da sociedade é o que ajuda a trazer a atenção para as ações humanas sobre os recursos naturais.

Mesmo estes pontos não tendo uma relação tão direta com a proposição de valor, com base no *framework* final do trabalho, deve-se ter a noção de que a razão pela qual um negócio resolve adotar a economia circular enquanto sua lógica de funcionar (e por conseguinte, de gerar valor) tem influência do que a sociedade pensa ou, principalmente, do que os clientes desejam.

4.4 INFLUÊNCIA SISTÊMICA DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR

Neste item de influência sistêmica das tecnologias da informação, o intuito não é necessariamente expor novas análises, aquelas ainda não apresentadas no trabalho, mas sim trazer muito das informações que já foram colocadas anteriormente, porém, à luz da abordagem sistêmica e do conceito de economia circular. Por isso, de certa forma, é um arremate das considerações e buscas da pesquisa.

Antes de iniciar propriamente tais considerações, a atual situação global que desencadeou o surgimento de novos modelos econômicos sustentáveis, mormente a economia circular, advém de um desequilíbrio crescente na relação entre os sistemas econômico, ambiental e social, puxado por este primeiro. Resumidamente, o sistema econômico, a partir das revoluções industriais, oportunizou desenvolvimento para o sistema social (bens de consumo e infraestrutura urbana), mas impactando o sistema ambiental.

Ocorre que com os atuais padrões de produção, os impactos no sistema ambiental interferem cada vez mais nos sistemas social e econômico (através de alterações climáticas e desastres ambientais), proporcionando riscos de ruir o modo de vida global no próximo século ou próximas décadas. É dentro deste panorama – fazendo um resgate introdutório do trabalho – que se concentra a influência da economia circular e, tão logo, o objetivo da análise em questão: a influência das tecnologias da informação.

Outra condição importante de lembrar são os conceitos sobre sistemas, especialmente ligados à Teoria geral dos sistemas. Um sistema, na visão da teoria, se mantém em equilíbrio (homeostase) quando recebe um estímulo (*input*) que realimenta seus elos e processos, do contrário seria um sistema fechado e fadado à extinção quando suas interações cessassem.

No caso das tecnologias da informação, o que a pesquisa evidenciou de sua contribuição foi o fornecimento de dados para um mercado praticamente analógico. O tema (subcategoria) da Coleta de dados representa um elemento-chave para influenciar o panorama desses setores de gestão de resíduos e reciclagem. Na figura dos códigos que compõem esse tema – Sensoriamento, Monitoramento e Conectividade –, a tecnologia da informação que mais possui relação é a *internet* das coisas (IoT), cabendo aqui o registro da sua relevância. Isso porque a IoT é a ponte entre os dados recém captados por sensores e o envio destes para outros dispositivos.

Quanto ao negócio, a TI habilitou serviços em plataformas digitais que permitem uma melhor articulação entre cidades, fábricas, comércios e empresas de coleta e reciclagem de resíduos, reduzindo então elos do sistema. E os dados após coletados, vão para o nível (e tema) da Análise de dados, onde possibilitam executar melhor o negócio, seja traçando rotas para a coleta por meio de algoritmos e separando os resíduos para a reciclagem automaticamente, por exemplo.

Assim, pode-se conjecturar que o fornecimento de dados serve ao modo de estímulo que torna as operações do sistema (o setor de gestão de resíduos e reciclagem) mais eficientes e, desse modo, impactam menos a necessidade de outro sistema (da cadeia produtiva) exigir mais o *input* das matérias primas naturais.

Portanto, a TI influencia a economia circular por fornecer dados que tornam os processos mais eficientes em termos de utilização de recursos e mais ágil a conexão entre participantes da gestão de resíduos e reciclagem, de modo a otimizar o *loop* do produto em seu estágio final de vida até o início da cadeia produtiva (V. Figura 1).

Contudo, antes de concluir esta seção, é importante trazer alguns esclarecimentos sobre as contribuições da TI para o sistema econômico, ambiental ou social. Não se quis dar impressão de uma perspectiva dita “solucionista” da TI, em que quaisquer problemas sociais são resolvidos pela TI. Aqui foram considerados tão somente suas contribuições, sem querer dar entendimento de que a economia circular ou o equilíbrio em alguns dos sistemas da sustentabilidade ocorrerão exclusivamente por conta das tecnologias.

Com isso, é interessante abordar que as próprias tecnologias (em sentido geral) não estão plenamente desenvolvidas, abrindo espaço para melhorias no seu desempenho no futuro e em suas contribuições para a sustentabilidade. Por exemplo tecnologias como 5G (com capacidade de exponenciar a conexão de objetos para coletar e transmitir dados), além das tecnologias *blockchain* (que promovem registros altamente seguros), são tendências futuras da TI.

Ademais, a TI também não é o único fator para incrementar a economia circular. Como asseverado no item sobre o sistema social, há questões de articulação política e conscientização social que são necessárias para a ideia de economia circular ser aceita, tanto por empresas quanto por consumidores. E existem outros campos de aplicação da economia circular, muito além da gestão e reciclagem de resíduos abordadas aqui.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Passado as etapas do processo de pesquisa, chega-se o momento de realizar o apanhado da experiência e resumir o significado de suas contribuições para a academia, bem como de suas limitações.

5.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

O *framework* final, assim como sua versão temática mais enxuta, é a principal contribuição do trabalho, pois serve de anteparo para todas as respostas dos objetivos específicos desse trabalho.

Desse modo, com relação à ligação entre a tecnologia da informação e os processos de criação, entrega e captura de valor (o primeiro objetivo específico deste trabalho), a pesquisa apontou que a proposição de valor compreende o percurso da captação de dados via sensores e dispositivos – em setores largamente “analógicos” (sem esse tipo de informação) –, para serem transmitidos via interface digital até a oferta de serviços por assinatura ou utilização. As tecnologias no nível de processamento também se notabilizam por aumentar a eficiência através de análises preditivas e apoio à tomada de decisão, bem como favorecer a automação de processos.

Estes pontos já eram abordados por Pagoropoulos, Pigosso e McAlloone (2017), quanto à predominância das camadas de coleta de dados e análise de dados na abordagem da TI. Entretanto, se os autores tinham apresentado essa predominância de forma conceitual, com base em revisão de outros artigos, a presente pesquisa proporcionou uma demonstração de como os conceitos ocorrem na prática, no setor de gestão de resíduos e reciclagem.

Quanto à associação da proposição de valor aos sistemas do tripé da sustentabilidade (o segundo objetivo específico), foi evidenciado o direcionamento da criação de valor para o uso mais eficiente de recursos, o que proporciona interações menos danosas do sistema econômico ao meio ambiente. Por outro lado, os parceiros e participantes do negócio possuem influência na responsabilidade laboral-comercial, o que tanto beneficia a qualidade de vida, quanto também pode trazer benefícios ao sistema ambiental.

Afora as exposições do item 4.3, o *framework* final e sua versão tematizada são respostas para esse objetivo, no sentido que exibem o esquema das inter-relações entre os sistemas. E o item 4.3 nada mais é do que as argumentações com base no *framework* final.

Por último, acerca da influência sistêmica das tecnologias da informação para a viabilização da economia circular (o terceiro objetivo específico), as análises do trabalho sugeriram que os dados coletados pela TI funcionam ao modo de estímulos ou *inputs* para o sistema de gestão de resíduos e reciclagem funcionar de forma mais eficiente, exigindo menos os recursos (outros *inputs*) de matérias-primas do sistema da cadeia produtiva. Talvez esse raciocínio seja um tanto evidente, mas, a real contribuição da abordagem sistêmica aqui é favorecer a visão integrada entre TI e sustentabilidade, de forma em que não seja feita uma dissociação em que as tecnologias são arquitetadas apenas no âmbito interno, no modelo de negócio, e paralelamente as atividades da empresa são pensadas para respaldar os pilares do tripé da sustentabilidade.

Com base nessas contribuições, espera-se que o papel das tecnologias da informação dentro da economia circular e do desenvolvimento sustentável seja mais ressaltado e objetivado com análises de pesquisas mais extensas, dada a complexidade e conjunto de fatores advindos da visão sistêmica. E também que as informações trazidas neste trabalho, em especial o *framework* final, possam ser melhoradas, validadas ou refutadas.

Além disso, as contribuições não são exclusivas à academia, sendo um potencial para ajudar gestores públicos e empreendedores a favorecer a concepção de novos negócios ou novas políticas voltadas para a economia circular. Ainda na ótica do pensamento sistêmico, a integração entre academia, empresas e poder público configura-se a base para um sistema nacional de inovação (CRUZ JÚNIOR, 2011) e, portanto, sempre é oportuno predispor a produção acadêmica para tal.

5.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Ainda assim, há de se mencionar também as limitações desse trabalho. Com relação aos dados, a utilização de fontes secundários oportunizou uma

coleta mais amplas de empresas (de múltiplos países), mas impediu sua coleta padronizada, o que poderia acrescentar análises mais metódicas ao estudo. Por exemplo, a aplicação de entrevistas semi-estruturadas, poderia dar mais uniformidade à coleta de dados (ainda dentro de uma ótica qualitativa).

Esse ponto teve inclusive repercussão na escolha do método da pesquisa, pois a análise temática se destaca por ser mais flexível quanto ao processamento e tratamento dos dados – o que foi favorável para as fontes secundárias. Mas, tendo dados mais padronizados, seria possível utilizar outros métodos qualitativos, a exemplo da análise de conteúdo e *ground theory* (mais próximas à análise temática).

Outro fator que traz uma certa limitação é a emergência do conceito da economia circular, também em paralelo a outros campos teóricos já estruturados, o que restringe a abordagem científica mais para as etapas exploratória e descritiva da pesquisa.

5.3 POSSIBILIDADES DE ESTUDOS FUTUROS

As possibilidades de estudos futuros em continuação aos achados desta pesquisa contemplam as validações do *framework* elaborado, a diversificação dos métodos e a mudança de campo de estudo (setor da economia circular).

Nesse sentido, novos estudos podem aprofundar as relações apresentadas no *framework* final para validar a pertinência científica de cada uma. A título de exemplo, o *framework* final temático pode ser utilizado para orientação de um objetivo geral, enquanto que o *framework* final, detalhado com os códigos, pode nortear possíveis objetivos específicos.

Tendo selecionado alguma parte do *framework* para validar, as pesquisas futuras também podem diversificar o método de coleta ou análise empregados, seja aprofundando a abordagem qualitativa, mudando para práticas qualitativas ou compondo uma mescla de ambos (métodos mistos). Quanto aos métodos mistos, é pertinente considerar que métodos qualitativos e quantitativos não são necessariamente excludentes, sendo importante avaliar a possibilidade de aplica-los conjuntamente.

Além da validação do *framework* e diversificação dos métodos adotados, as direções futuras de estudo podem adentrar outros campos da economia

circular, não se limitando ao setor de gestão de resíduos e reciclagem pesquisado aqui. Outras áreas como agricultura, alimentação, moda, cadeia de produtos plásticos, metalurgia, água, entre outras, são igualmente relevantes para o desenvolvimento humano e passíveis de análise à luz do tripé da sustentabilidade. Por outro lado, a presente pesquisa teve a característica de abordar de que modo a TI facilita ou viabiliza a economia circular, o que por sua vez abre espaço para outros estudos abordarem o processo inverso, de quais são e como se comportam as resistências tecnológicas perante à EC.

Portanto, espera-se que a área de estudo da economia circular possa ser aumentada e organizada, tendo em vista ser um conceito útil e de relevância para de fato implantar o desenvolvimento sustentável no planeta.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **Resíduos sólidos – Classificação** (NBR 10004). Rio de Janeiro, 2004.

ACETO, Giuseppe; PERSICO, Valerio; PESCAPÉ, Antonio. A survey on information and communication technologies for industry 4.0: state of the art, taxonomies, perspectives, and challenges. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3467-3501, 2019.

AEA – AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE. **Waste recycling**: indicator assessment. 2019. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/waste-recycling-1/assessment-1>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

ANTIKAINEN, Maria; UUSITALO, Teuvo; KIVIKYTÖ-REPONEN, Päivi. Digitalisation as an enabler of circular economy. **Procedia CIRP**, 10th Conference on Industrial Product-Service Systems, n. 73, p. 45-49, Linköping, Suécia, 2018.

ART, Henry W. **Dicionário de ecologia e ciências ambientais**. Tradução: Mary Amazonas Leite de Barros. São Paulo: Companhia Melhoramentos, 1998. VIII + 583 p.

ASKOXYLAKIS, Ioannis. A Framework for Pairing Circular Economy and Internet of Things. **IEEE International Conference on Communications (ICC)**, Kansas City (USA), 20 a 24 março, 2018.

BARBIER, Edward B.; BURGESS, Joanne C. The sustainable development goals and the systems approach to sustainability. **Economics E-Journal**, v. 11, 2017.

BERTALANFFY, Ludwig von. **General system theory**: foundations, development, applications. Nova Iorque: George Braziller, 1968, xvi + 289 p.

BOONS, Frank; LÜDEKE-FREUND, Florian. Business models for sustainable innovation: state-of-the-art and steps towards a research agenda. **Journal of Cleaner Production**, v. 45, p. 9-19, 2013.

BOUWMAN, Harry; HOOFF, Bart V. D.; WIJNGAERT, Lidwien V. D.; DIJK, J. V. **Information and communication technology in organizations**. Londres: SAGE Publications, 2005, 223 p.

BOYATZIS, Richard E. **Transforming qualitative information**: thematic analysis and code development. Sage Publications, Thousand Oaks, 1998, VI + 183 p.

BRAUN, Virginia; CLARKE, Victoria. Using thematic analysis in Psychology. **Qualitative Research in Psychology**, n. 2, v. 3, p. 77-101, 2006.

BRESSANELLI, Gianmarco; ADRODEGARI, Frederico; PERONA, Marco; SACCANI, Nicola. The role of digital technologies to overcome circular economy challenges in PSS business models: an exploratory case study. **Procedia CIRP**, 10th conference on industrial product-service systems, n. 73, p. 216-221, Linköping, Suécia, 2018.

BROWN, George W. **Value chains, value streams, value nets, and value delivery chains**. BPTrends, abr. 2009

BUDGEN, David; BRERETON, Pearl. Performing systemic literature reviews in software engineering. **ICSE '06: Proceedings of the 28th international conference on Software engineering**, Shangai (China), 20 a 28 maio, 2006.

CENTOBELLI, Piera; CERCHIONE, Roberto; CHIARONI, Davide; DEL VECCHIO, Pasquale; URBINATI, Andrea. Designing business models in circular economy: a systemic literature review and research agenda. **Business Strategy and the Environment**, n. 4, v. 29, p. 1734-1749, 2020.

CHESBROUGH, Henry; LETTL, Christopher; RITTER, Thomas. Value creation and value capture in open innovation. **Journal of Product Innovation Management**, n. 6, v. 35, p. 930-938, 2018.

CIRANI, Simone; FERRARI, Gianluigi; PICONE, Marco; VELTRI, Luca. **Internet of Things: architectures, protocols and standards**. John Wiley & Sons, West Sussex, 2019, XVII + 383 p.

CLAYTON, Anthony M. H.; RADCLIFFE, Nicholas J. **Sustainability: a systems approach**. Earthscan, Reino Unido, 1996, XII + 257 p.

CMMAD – COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Report of the world commission on environment and development: our common future**. BRUNDTLAND, Gro H. Oslo, 1987.

COMPOLOGY. **Technology & Trash: the winning combination**. 2017. Disponível em: <<https://compology.com/blog/technology-and-trash>>. Acesso em: 01 abr. 2021.

COSENZ, Federico; RODRIGUES, Vinicius P.; ROSATI, Francesco. Dynamic business modeling for sustainability: exploring a system dynamics perspective to develop sustainable business models. **Business Strategy and the Environment**, n. 2, v. 29, p. 651-664, 2019.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução: Magda Lopes. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010, 269 p.

CRUNCHBASE. **Search companies**. c2021. Disponível em: <<https://www.crunchbase.com/discover/organization.companies>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

CRUZ JÚNIOR, Ademar S. **Diplomacia, Desenvolvimento e Sistemas Nacionais de Inovação: estudo comparado entre Brasil, China e Reino Unido**. Fundação Alexandre de Gusmão, Brasília, 2013, 288 p.

DESA – DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS. **World Urbanization Prospects: The 2018 revision**. Nações Unidas, Nova York, 2019.

DILLET, Romain. **Greyparrot uses computer vision to improve waste management**. Techcrunch, 2019. Disponível em: <<https://techcrunch.com/2019/10/03/greyparrot-uses-computer-vision-to-improve-waste-management/>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

DINGSØYR, Torgeir; LASSENIUS, Casper. Emerging themes in agile software development: introduction to the special section on continuous value delivery. **Information and Software Technology**, v. 77, p. 56-60, 2016.

ELKINGTON, John. **Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business**. Reino Unido: Capstone Publishing Limited, 1997, xiv + 402 p.

EPA – AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTA DOS ESTADOS UNIDOS. **National overview: facts and figures on materials, wastes and recycling**. 2019. Disponível em: <[https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials#:~:text=The%20recycling%20rate%20\(including%20composting,person%20per%20day%20for%20recycling.>](https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials#:~:text=The%20recycling%20rate%20(including%20composting,person%20per%20day%20for%20recycling.>)>. Acesso em: 18 dez. 2020.

ERTEL, Wolfgang. **Introduction to Artificial Intelligence**. Springer, 2 ed., Alemanha, 2017, XIV + 356 p.

ESPINOSA, A; PORTER, T. Sustainability, complexity and learning: insights from complex adaptive systems. **The Learning Organization**, n. 1, v. 18, p. 54-72, 2011.

FEHRER Julia A.; WIELAND, Heiko. A systemic logic for circular business models. **Journal of Business Research**, v. 125, p. 609-620, 2020.

FEREDAY, Jennifer; MUIR-COCHRANE, Eimear. Demonstrating rigor using thematic analysis: a hybrid approach of inductive and deductive coding and theme development. **International Journal of Qualitative Methods**, n. 1, v. 5, p. 1-11, 2006.

FRANKISH, Keith; RAMSEY, William M (edit.). **The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence**. Cambridge University Presse, Cambridge, 2014, XII + 354 p.

FRIESE, Susanne. **Qualitative data analysis with Atlas.ti**. Sage publications, Londres, 2 ed., 2014, 521 p.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR. **Artificial Intelligence and the Circular Economy: AI as tool to accelerate the transition**. Fundação Ellen MacArthur, Reino Unido, 2019.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR. **Towards the circular economy: economic and business rationale for accelerated transition**. Volume 1. Reino Unido, 2013.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR; SUN; CENTRO PARA NEGÓCIOS AMBIENTAIS DA MCKINSEY. **Growth Whithin: a circular economy vision for a competitive Europe**. Fundação Ellen MacArthur, Reino Unido, 2015.

GARG, Saurabh K.; BUYA, Rajkumar. **Green Cloud Computing and Environmental Sustainability**. In: MURUGESAN, San; Gangadharan (edit.). *Harnessing Green IT: principles and practices*. John Wiley & Sons, West Sussex, 2012, XXXVI + 395 p.

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GOSH, Sadhan Kumar. **Circular Economy: global perceptions**. Springer Nature Sinagapore, Singapura, 2020, xiv + 452 p.

GOVIDAN, Kannan; HASANAGIC, Mia. A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 1-2, p. 278-311, 2018.

GUPTA, Shivam; CHEN, Haozhe; HAZEN, Benjamin T.; KAUR, Sarabjot; GONZÁLEZ, Ernesto D. R. S. Circular economy and big data analytics: a stakeholder perspective. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 144, p. 466-474, 2018.

HEATON, Janet. Secondary analysis of qualitative data: an overview. **Historical social research**, n. 3, v. 33, p. 33-45, 2008.

HEDMAN, Jonas; KALLING, Thomas. The business model concept: theoretical underpinnings and empirical illustrations. **European Journal of Information Systems**, v. 12, p. 49-59, 2003.

HOLMES, Dawn E. **Big Data: a very short introduction**. Oxford University Press, Oxford, 2017, 147 p.

HOPKINSON, PETER; DE ANGELIS, Roberta; ZILS, Marcus. Systemic Building blocks for creating and capturing value from circular economy. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 155, p. 1-10, 2020.

I GOT GARBAGE. **Our footprint**. 2019. Disponível em: <<https://www.igotgarbage.com/our-footprint/>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Apenas 13% dos resíduos sólidos urbanos no país vão para reciclagem**. 2017. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29296>. Acesso em: 18 dez. 2020.

ISHWARAPPA; ANURADHA, J. A brief introduction on big data 5Vs characteristics and Hadoop technology. **Procedia Computer Science**, v. 48, p. 319-324, 2015.

JABBOUR, Ana B. L. S.; JABBOUR, Charbel J. C.; GODINHO FILHO, Moacir; ROUBAUD, David. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. **Annals of Operations Research**, n. 270, p. 273-286, 2018.

KHITOUS, Fatima; STROZZI, Fernanda; URBINATI, Andrea; ALBERTI, Fernando. A systematic literature network analysis of existing themes and emerging research trends in circular economy. **Sustainability**, v. 12, n. 1633, p. 1-24, 2020.

KIRCHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: na analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation & Recycling**, n. 127, p. 221-232, 2017.

KORHONEN, Jouni; HONKASALO, Antero; SEPPÄLÄ, Jyri. Circular economy: the concept and its limitations. **Ecological Economics**, n. 143, p. 37-46, 2018.

KREITH, Frank; TCHOBANOGLIOUS, George. **Handbook of Solid Waste Management**. McGraw-Hill, 2 ed., Estados Unidos da América, 2002, XVI + 815 p.

LACOMBE, Francisco. **Dicionário de Administração**. Editora Saraiva, São Paulo, 2004, 358 p.

LACY, Peter. **These 5 disruptive technologies are driving the circular economy**. Fórum Econômico Mundial, 2017. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2017/09/new-tech-sustainable-circular-economy/>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

LEDER, Nadine; KUMAR, Maneesh; RODRIGUES, Vasco S. Influential factors for value creation within the circular economy: framework for waste valorisation. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 158, p. 1-10, 2020.

LEMON TRI. **Qui somme nous**. c2021. Disponível em: <<https://lemontri.fr/qui-sommes-nous/>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

LEWANDOWSKI, Mateusz. Designing the business models for circular economy – towards the conceptual framework. **Sustainability**, n. 8, v. 43, p. 1-28, 2016.

LINDER, Marcus; WILLIANDER, Mats. Circular business model innovation: inherent uncertainties. **Business Strategy and the Environment**, n. 2, v. 26, p. 182-196, 2017.

LÜDEKE-FREUND, Florian; GOLD, Stefan; BOCKEN, Nancy M. P. A review and typology of circular economy business model patterns. **Journal of Industrial Ecology**, n. 1, v. 23, p. 36-61, 2018.

MAIER, Ronald. **Knowledge Management Systems: information and communication technologies for knowledge management**. Springer, 3 ed., Leipzig, 2007, XIV + 720.

MANNINEN, Kaisa; KOSKELA, Sirkka; ANTIKAINEN, Riina; BOCKEN, Nancy; DAHLBO, Helena; AMINOFF, Anna. Do circular economy business models capture intended environmental value propositions? **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 413-422, 2018.

MARINESCU, Dan C. **Cloud Computing: theory and practice**. Morgan Kaufmann Publishers; Elsevier, Cambridge (USA), 2018, XXI + 566 p.

MICHEL, Stefan. **Capture More Value**. Harvard Business Review, 2014. Disponível em: <<https://hbr.org/2014/10/capture-more-value>>. Acesso em: 07 jul. 2021.

MURUGESAN, San. Harnessing green IT: principles and practices. **IT Professionals**, v. 10, n. 1, p. 24-33, 2008.

NEA – AGÊNCIA AMBIENTAL NACIONAL. **Waste statistics and overall recycling**. 2019. Disponível em: <<https://www.nea.gov.sg/our-services/waste-management/waste-statistics-and-overall-recycling#:~:text=The%20domestic%20recycling%20rate%20decreased,73%20per%20cent%20in%202019.>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

NOBRE, Gustavo C; TAVARES, Elaine. Scientific literature analyses on big data and internet of things applications on circular economy: a bibliometric study. **Scientometrics**, v. 111, p. 463-492, 2017.

NOWELL, Lorelli S.; NORRIS, Jill M.; WHITE, Deborah E.; MOULES, Nancy J. Thematic analysis: striving to meet the trustworthiness criteria. **International Journal of Qualitative Methods**, v.16, p. 1-13, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **2030 Agenda**. Nova Iorque, 2015. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/2030agenda>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

Idem. **Ensure sustainable consumption and products patterns**. Infográfico. 2020a. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2020/07/E_infographics_12.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2020.

Idem. **Goal 12: ensure sustainable consumption and production patterns**. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>>. Acesso em: 18 dez. 2020b.

OSTERWALDER, Alexander. **The business model ontology: a proposition in a design science approach**. Tese; l'Ecole des Hautes Etudes Commerciales, l'Université de Lausanne. Lausanne, p. 172, 2004.

OSTERWALDER, Alexander; PIGNEUR Yves; TUCCI, Christoph L. Clarifying business models: origins, present, and future of the concept. **Communication of the Association for Information Systems**, v. 15, p.1-43, 2005.

OSTERWALDER, Alexander; PIGNEUR, Yves. **Business Model Generation**. John Wiley & Sons, New Jersey, 2010, 281 p.

OSTERWALDER, Alexander; PIGNEUR, Yves; BERNARDA, Greg; SMITH, Alan. **Value Proposition Design**. John Wiley & Sons, New Jersey, 2014, XXVI + 295 p.

PADILLA-RIVERA, Alejandro; RUSSO-GARRIDO, Sara; MERVEILLE, Nicola. Addressing the social aspects of a circular economy: a systematic literature review. **Sustainability**, n. 19, v. 12, p. 1-17, 2020.

PAGOROPOULOS, Aris; PIGOSSO, Daniela C. A.; MCALOONE, Tim C. The emergent role of digital technologies in the circular economy: a review. **Procedia CIRP**, The 9th CIRP IPSS Conference: circular perspectives on product/services-systems, n. 64, p. 19-24, 2017.

PARIDA, Vinit; SJÖDIN, David; REIM, Wiebke. Reviewing literature on digitalization, business model innovation, and sustainable industry: past achievements and future promises. **Sustainability**, v. 11, n. 391, 2019.

PIETRO-SANDOVAL, Vanessa; JACA, Carmen; ORMAZABAL, Marta. Towards a consensus on the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 605-615, 2018.

PNUMA – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Solid waste management**. Disponível em: <<https://www.unenvironment.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/solid-waste-management>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

POOLE, David; MACKWORTH, Alan; GOEBEL, Randy. **Computational Intelligence: a logical approach**. Oxford University Press, Oxford, 1998, 576 p.

PORTER, Michael E. **Competitive Advantage: creating and sustaining superior performance**. The Free Press, New York, 1985, XXV + 557 p.

PRITCHARD, Alisa. **AI startup Greyparrot raises £1.825m in seed funding round to revolutionise recycling with waste recognition software**. Greyparrot, 2020. Disponível em: <<https://www.greyparrot.ai/blog/ai-startup-greyparrot-raises-1.825m-in-seed-funding-round-to-revolutionise-recycling-with-waste-recognition-software>>. Acesso em: 29 jul. 2020.

RANTA, Valtteri; AARIKKA-STENROOS, Leena; MÄKINEN, Saku J. Creating value in the circular economy: a structured multiple-case analysis of business models. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 988-1000, 2018.

RANTA, Valtteri; AARIKKA-STENROOS, Leena; VÄISÄNEN, Juha-Matti. Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy – multiple case study. **Resources, Conservation & Recycling**, n. 164, p. 1-11, 2021.

REINALES, Diana; ZAMBRANA-VASQUEZ, David; SAEZ-DE-GUINOA, Aitana. Social life cycle assessment of product value chains under a circular economy approach: a case study in the plastic packaging sector. **Sustainability**, n. 16, v. 12, p. 1-17, 2020

RITZÉN, Sofia; SANDSTRÖM, Gunilla Ö. Barriers to the circular economy – integration of perspectives. **Procedia CIRP**, 9th CIRP IPSS Conference: circular perspectives on product/service-systems, n. 64, p. 7-12, 2017.

RIZVI, Syed W. H.; AGRAWAL, Saurabh; MURTAZA, Qasim. Circular economy under the impact of IT tools: a content-based review. **International Journal of Sustainable Engineering**, n. 2, v. 14, p. 87-97, 2020.

ROBERTS, John. **Teoria das organizações: redesenho organizacional para o crescimento e desempenho máximos**. Tradução: Ana Beatriz Tavares e Daniel Lacerda. Elsevier, Rio de Janeiro, 2005, XII + 232 p.

ROSA, Paolo; SASSANELLI, Claudio; URBINATI, Andrea; CHIARONI, Davide; TERZI, Sergio. Assessing relations between circular economy and industry 4.0: a systematic literature review. **International Journal of Production Research**, n. 6, v. 58, p. 1662-1687, 2019.

ROSENGREN, Cole. **Rubicon Global taking less combative tack, focusing on software business**. Waste Dive, 2019. Disponível em: <<https://www.wastedive.com/news/rubicon-global-taking-less-combative-tack-focusing-on-software-business/555052/>>. Acesso em: 7 abr. 2021.

RUPARELIA, Nayan. **Cloud Computing**. MIT Press, Cambridge (USA), 2016, XVI + 260 p.

SAIANI, Carlos C. S.; DOURADO, Juscelino; TONETO JÚNIOR, Rudinei (Orgs.). **Resíduos Sólidos no Brasil: oportunidades e desafios da lei federal Nº 12.305 (Lei de resíduos sólidos)**. Editora Manole, Barueri/SP, 2014, XXVIII + 423 p.

SANDRONI, Paulo. **Novíssimo dicionário de economia**. São Paulo: Editora Best Seller, 2001. 649 p.

SAUVÉ, Sébastien; BERNARD, Sophie; SLOAN, Pamela. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development**, v. 17, p. 48-56, 2016.

SCHWANINGER, Markus. Organazing for sustainability: a cybernetic concept for sustainable renewal. **Kybernetes**, n. 6/7, v. 44, p. 935-954, 2015.

SENGE, Peter M. **A Quinta Disciplina**. Tradução: Gabriel Zide Neto, OP Traduções. Editora BestSeller, Rio de Janeiro, 2013, 640 p.

SENSONEO. **Global provider of Smart Waste Management Solutions**. 2020. Disponível em: <https://sensoneo.com/wp-content/uploads/sensoneo/Sensoneo_overview_leaflet-2020_ENG-1.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

SILVA, Manoela R. S.; BARBOSA, Marcos A. S.; LIMA, Lucas G. B. Usos e possibilidades metodológicas para os estudos qualitativos em administração: explorando a análise temática. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, n. 1, v. 14, p. 111-123, 2020.

SILVA, Paulo Resende da. **A teoria das organizações e os modelos organizacionais**. c2021, 38 f. Capítulo de Tese. Disponível em: <https://www.academia.edu/3098740/A_Teoria_das_Organiza%C3%A7%C3%B5es_e_os_Modelos_Organizacionais>. Acesso em: 6 jul. 2021.

SJÖDIN, David; PARIDA, Vinit; JOVANOVIĆ, Marin; VISNJIC, Ivanka. Value creation and value capture alignment in business model innovation: a process view on outcome-based business models. **Journal of Product Innovation Management**, n. 2, v. 37, p. 158-183, 2020.

SMITH, Emma. **Using Secondary Data in Educational and Social Research**. Open University Press; McGraw-Hill Education, Grã-Bretanha, 2008, X + 249 p.

STATISTA. **Recycling rate of the total waste generated in Japan from fiscal year 2009 to 2018**. 2020. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1127509/japan-recycling-rate-waste/#:~:text=In%20the%20fiscal%20year%202018,majority%20of%20the%20generated%20waste.>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

STUBBS, Wendy; COCKLIN, Chris. Conceptualizing a "sustainability business model". **Organization & Environment**, v. 12, n. 2, p. 103-127, 2008.

TEECE, David J.; LINDEN, Greg. Business models, value capture, and the digital enterprise. **Journal of Organization Design**, n. 8, v. 6, p. 1-14, 2017.

TSENG, Ming-Lang; TAN, Raymond R.; CHIU, Anthony S. F.; CHIEN, Chen-Fu; KUO, Tsai C. Circular economy meets industry 4.0: can big data drive industrial symbiosis? **Resources, Conservation & Recycling**, v. 131, p. 146-147, 2018.

UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES – UIT. **ITU internet reports: the internet of things**. Genebra, 2005.

UNIDO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Industry 4.0: opportunities behind the challenge**. Viena, 2017. Disponível em: <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-06/UNIDO%20Background%20Paper%20on%20Industry%204.0_FINAL_TII.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2020.

URBINATI, Andrea; CHIARONI, Davide; CHIESA, Vittorio. Towards a new taxonomy of circular economy business models. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 487-498, 2017.

WEBSTER, Ken. **The circular economy: a wealth of flows**. Reino Unido: Fundação Ellen MacArthur, 2016, 201 p.

WILSON, M.; PASCHEN, J.; PITT, L. The Circular Economy meets Artificial Intelligence (AI): understanding the opportunities of AI for reverse logistics. **Management of Environmental Quality**, disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=3802829>>. Março, 2021. Acesso em: 30 jun. 2021.

WINANS, K.; KENDALL, A.; DENG, H.; The history and current applications of the circular economy concept. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 68, p. 825-833, 2017.

YAMATANI, Takeshi. **A separação de resíduos da China muda com dispositivos inteligentes.** Traduzido por: Google. ZDNet Japan, 2019. Disponível em: <<https://japan.zdnet.com/article/35139853/>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

APÊNDICE A

Quadro de empresas do estudo

Empresa	Página na Startuptracker	Website
Antariksh	https://startuptracker.io/startups/antariksh-waste-ventures-pvt-ltd	https://antariksh.io/
Aobag	https://startuptracker.io/startups/aobag	https://www.aobag.com/
Bin-e	https://startuptracker.io/startups/bin-e	https://bine.world/
Brighterbins	https://startuptracker.io/startups/brighterbins	https://www.brighterbins.com/
CleanRobotics	https://startuptracker.io/startups/cleanrobotics	https://cleanrobotics.com/
Compology	https://startuptracker.io/startups/compology	https://compology.com/
Ecube Labs	https://startuptracker.io/startups/ecubelabs	https://www.ecubelabs.com/
Enevo	https://startuptracker.io/startups/enevo	https://www.enevo.com/
Greyparrot	https://startuptracker.io/startups/greyparrot	https://www.greyparrot.ai/
I Got Garbage	https://startuptracker.io/startups/i-got-garbage	https://www.igotgarbage.com/
Lemon Tri	https://startuptracker.io/startups/lemontri	https://lemontri.fr/
Miniwiz	https://startuptracker.io/startups/miniwiz	http://www.miniwiz.com/
RecycleGO	https://startuptracker.io/startups/recyclego-inc	https://www.recyclego.com/
RecycleSmart	https://startuptracker.io/startups/recycle-smart-solutions	https://recycle-smart.com/
Recycle Track Systems	https://startuptracker.io/startups/recycle-track-systems	https://www.rts.com/
RoadRunner Recycling	https://startuptracker.io/startups/roadrunner-recycling	https://www.roadrunnerwm.com/
Rubicon	https://startuptracker.io/startups/rubicon.com.3	https://www.rubicon.com/
Sensoneo	https://startuptracker.io/startups/sensoneo	https://sensoneo.com/
Uzer	https://startuptracker.io/startups/uzer	https://www.uzer.eu/
Waste Robotics	https://startuptracker.io/startups/waste-robotics	https://wasterobotic.com/
WastePlace	https://startuptracker.io/startups/wasteplace	https://www.wasteplace.com/

APÊNDICE B

Quadro de documentos analisados

Título do documento	Autoria da publicação	Ano de publicação
Toward a future without waste	Rubicon	2019
Disrupting the Waste Industry with Technology	Harvard Business School	2021
Rubicon Global taking less combative tack, focusing on software business	Waste Dive	2019
Antariksh Waste Ventures to digitise waste disposal system	The New Indian Express	2019
This IIT Madras-incubated start-up's Smart Bin System will help prevent COVID-19 spread. Here's how	Edex Live	2020
A separação de resíduos da China muda com dispositivos inteligentes	ZDNet Japan	2019
How a Beijing Community Uses Technology to Sort its Waste	China Development Brief	2019
O que fizemos neste ano de triagem de lixo?	Aobag	2018
Bin-e Creates Contactless Smart Bin	Waste 360	2020
How One Entrepreneurial Company is Developing a Smart Waste Bin	Waste 360	2017
Smart Bin Startup Bin-e Celebrates Several Milestones	Waste 360	2018
BrighterBins Produces Cost-Effective Smart Sensors For Municipal and Commercial Waste Pickup	Tech Company News	2021
BrighterBins: a new and better smart garbage solution	BrighterBins	2019
Interview with CleanRobotics – the makers of TrashBot	The User-Centered Startup Blog	2018
The TrashBot Automatically Separates Recyclables from Garbage	Interesting Engineering	2017
Compology brings AI-powered waste metering to multifamily housing market	Recycling Products News	2020
Compology's Next Chapter	Compology	2020
How Sensors Will Succeed In The Waste Industry	Compology	2017
Technology & Trash: The Winning Combination	Compology	2017
Dublin Airport increases waste collection efficiency by 90% with Ecube Labs technology	Ecube Labs	2017
ECube Emerges as Player in Solar-Powered, Data-Mining Trash Bin Space	Waste 360	2017
Ecube Labs awarded \$15M contract to install smart trash bins in Baltimore	Ecube Labs	2018
Internet of bins: smart, solar powered trashcans in Colombian cities	The Guardian	2016
Enevo returns business focus to its award-winning smart waste technology	Enevo	2020
How we helped this property management company secure LEED certification	Enevo	2019

How we reduced costs, carbon emissions, and community complaints in Newcastle	Enevo	2019
AI startup Greyparrot raises £1.825m in seed funding round to revolutionise recycling with waste recognition software	Greyparrot	2020
Greyparrot uses computer vision to improve waste management	Tech Crunch	2019
Meet the London start-up using facial recognition tech to sort your recycling	The Standard	2019
How the web is helping waste-pickers clean up Bangalore's rubbish	The Guardian	2014
I Got Garbage, the App: Making Cities Cleaner and Rag-pickers Better Off	Haaretz	2019
IT Comes To The Aid Of Bangalore's Rubbish Collectors	Forbes Middle East	2015
A Marseille, Lemon Tri booste le recyclage des déchets et la solidarité	Made in Marseille	2021
À Montgeron, un local poubelle pas comme les autres	Lemon Tri	c2021
Lemon Tri dope recyclage et insertion	Les Echos	2020
Closing the circle on waste	National Geographic	2020
Doubling down on upcycling	Strategy Business	2020
An 'Uber for garbage' picks up steam, and \$11.7 million in Series A funding	Tech Crunch	2017
Environmental + Social + Governance Impact Report	Recycling Track Systems	2020
'Uber for trash' uses rideshare technology to collect waste	CNBC	2018
Blockchain Experiments Aim to Improve Waste Management	BeinCrypto	2021
Blockchain tracks entire life cycle of recycled materials	RecycleGO	c2021
Tech Provider Leverages Blockchain to Improve Recycling	Waste 360	2020
CSA Exclusive: Forman Mills cleans up waste management inconsistencies	CSA	2020
Pittsburgh-Based Start Up Creates A Smart Way To Recycle	WESA 90.5	2020
RoadRunner Recycling CEO says new \$28.6M funding round to fuel expansion, despite pandemic	Waste Dive	2020
Global provider of Smart Waste Management Solutions	Sensoneo	2019
IoT Solution Tracks Waste Volume and Conditions in Bins	RFID Journal	2018
Prague to pilot large-scale, dynamic waste collection	Recycling Magazine	2020
Sensoneo announces monitoring device for waste collection truck	Recycling Magazine	2021
Des robots québécois qui recyclent et qui veulent faire leurs preuves ici	Radio Canada	2018
Fondation invests in artificial intelligence for environmental solutions	Recycling Product News	2021
How a Minnesota Operation is Using a Robotics Solution to Sort Organics	Waste 360	2017
Un robot intelligent qui trie vos déchets	L'Hebdo Journal	2017
Startup spotlight: WastePlace aims to	Austin Business Journal	2020

reate one-stop-shop for waste management		
WastePlace and JE Dunn Partner to Streamline Waste Services at Construction Sites	Waste 360	2020
RecycleSmart moves old-fashioned trash pickup into the tech century	Financial Post	2017
Richmond-based company receives federal funding for development of clean technology	Richmond News	2020
Technology makes recycling firm fastest growing in Richmond	Richmond News	2017
Eugène, un boîtier connecté pour mieux trier ses déchets	Le Figaro	2017
Smart trash can helps educate reluctant recyclers	Engadget	2016
Uzer's barcode-scanning trash can aims to transform traditional waste disposal	Waste Dive	2016

ANEXO I

Número de publicações contendo “*circular economy*” na Web of Science

Anos de publicação	Número de Registros	Porcentagem em relação ao total
2021	1746	18,165%
2020	2803	29,161%
2019	1800	18,727%
2018	1143	11,891%
2017	684	7,116%
2016	385	4,005%
2015	158	1,644%
2014	93	0,968%
2013	98	1,020%
2012	110	1,144%
2011	114	1,186%
2010	133	1,384%
2009	106	1,103%
2008	70	0,728%
2007	60	0,624%
2006	24	0,250%
2005	21	0,218%
2004	15	0,156%
2003	10	0,104%
2002	3	0,031%
2001	3	0,031%
2000	3	0,031%
1999	5	0,052%
1998	7	0,073%
1997	2	0,021%

Fonte: Adaptado de Web of Science (2021).