



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO
CURSO DE GESTÃO ESTRATÉGICA EM NEGÓCIOS**

**A ECONOMIA CIRCULAR NA ERA DA 4ª REVOLUÇÃO
INDUSTRIAL – USO DA TECNOLOGIA RUMO À
TRANSIÇÃO**

Circular&Tecnologias&Design&NovosModelosdeNegócios&Circular

Cynthia Helena Soares Bouças Teixeira

**Belo Horizonte
2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS EM ADMINISTRAÇÃO
CURSO DE GESTÃO ESTRATÉGICA EM NEGÓCIOS**

**A ECONOMIA CIRCULAR NA ERA DA 4ª REVOLUÇÃO
INDUSTRIAL – USO DA TECNOLOGIA RUMO À
TRANSIÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão Estratégica de Negócios

Orientador: Professor Dr. Ricardo Luiz Perez Teixeira

Belo Horizonte

2021

Ficha catalográfica

T266c
2021
Teixeira, Cynthia Helena Soares Bouças.
A economia circular na era da 4ª revolução industrial
[manuscrito]: uso da tecnologia rumo à transição / Cynthia Helena
Soares Bouças Teixeira. – 2021.
115 fl.

Orientador: Ricardo Luiz Perez Teixeira.
Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas
Gerais, Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração.
Inclui bibliografia.

I. Administração. 2. Economia. I. Teixeira, Ricardo Luiz
Perez II. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Pós-
Graduação e Pesquisas em Administração. IV. Título.

CDD: 658

Elaborado por Rosilene Santos CRB-6/2527



Universidade Federal de Minas Gerais
Faculdade de Ciências Econômicas
Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração
Curso de Especialização em Gestão Estratégica

ATA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO da Senhora **CYNTHIA HELENA SOARES BOUÇAS TEIXEIRA**, matrícula nº 2019727611. No dia 09/08/2021 às 17:00 horas, reuniu-se em sala virtual, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso - TCC, indicada pela Coordenação do Curso de Especialização em Gestão Estratégica - CEGE, para julgar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "A ECONOMIA CIRCULAR NA ERA DA 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL - USO DA TECNOLOGIA RUMO À TRANSIÇÃO", requisito para a obtenção do Título de Especialista. Abrindo a sessão, o orientador e Presidente da Comissão, Prof. Ricardo Luiz Perez Teixeira, após dar conhecimento aos presentes do teor das Normas Regulamentares de apresentação do TCC, passou a palavra a aluna para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, seguido das respostas da aluna. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença da aluna e do público, para avaliação do TCC, que foi considerada:

APROVADO

NÃO APROVADO

95 pontos (noventa e cinco) trabalhos com nota maior ou igual a 60 serão considerados aprovados.

O resultado final foi comunicado publicamente a aluna pelo orientador e Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Senhor Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 09/08/2021.

Prof. Ricardo Luiz Perez Teixeira
Orientador- (Universidade Federal de Itajubá)

Ricardo Luiz Perez Teixeira

Prof. Max Leandro de Araújo Brito
(Universidade Federal do Rio Grande do Norte)

Max Brito

Profª Priscilla Chantal Duarte Silva
(Universidade Federal de Itajubá)

Priscilla Chantal Duarte Silva

Prof. Ricardo Teixeira Veiga
(CEPEAD/UFMG)

Ricardo Teixeira Veiga

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Curso de Especialização em Gestão Estratégica (CEGE) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a todos os meus professores que, durante a minha especialização, proporcionaram a disseminação do conhecimento, fortalecendo tanto meu crescimento profissional como pessoal. Ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo Luiz Perez Teixeira pela dedicação em indicar o caminho para a realização desse projeto e sanar as minhas dúvidas.

RESUMO

A economia global apresenta-se, essencialmente, linear, porém caracterizada por esforços descontínuos para uma “Economia Circular”. O termo “Economia Circular” originou-se na década de 70, porém a sua conceituação se desenvolveu até se chegar a uma convergência, conforme Ellen MacArthur em 2010. Neste contexto, tem-se a utilização inteligente de recursos incorporados aos sistemas industriais, intencionalmente reparadores e regenerativos. As bases desses sistemas descortinam oportunidades ímpares para a sustentabilidade ambiental, econômica e social, bem como para paradigmas de uma nova indústria, a “Indústria 4.0”. O processo atual de manufatura tem se caracterizado pela convergência de tecnologias e pela extensa modernização tecnológica. Estes avanços vêm transformando a indústria em “fábricas inteligentes”, com alto grau de informatização de serviços e sistemas produtivos, gerando repercussões socioeconômicas e ambientais quando se trata do desafio da sustentabilidade. Sobre a informatização, a digitalização traz um maior controle e sistemas produtivos (e de serviços) com intensa automatização, autonomia, integração, customização, conectividade, otimização, rastreabilidade e inteligência nos sistemas, processos e empresas para operações em tempo real, aumentando a produtividade. Quanto à sustentabilidade, a “Economia Circular” e a “Indústria 4.0”, embora tenham conceitos, origens e fundamentos diferenciados, elas se inter-relacionam para a viabilização de modelos de negócios, frente às exigências socioambientais e tecnológicas de um atual ecossistema globalizado. Posto isto, o objetivo geral deste trabalho é discutir a transição para a “Economia Circular”, no contexto de implantação da “Indústria 4.0”, através das suas inter-relações. Para tanto, realizou-se uma análise da literatura afim de verificar a existência de associação entre fatores socioambientais da “Economia Circular” e a ocorrência do processo de implantação da “Indústria 4.0”. O método utilizado foi a revisão sistemática da literatura, mediante busca seletiva na rede da CAFE (Comunidade Acadêmica Federada) do Portal de Periódicos da CAPES, na “busca Assunto”, que inclui todas as suas bases de pesquisa disponíveis. Da discussão e conclusão dos temas, tem-se que, embora os conceitos e as análises apresentados sejam discutidos na literatura, faz-se necessário passar à implementação prática da “Economia Circular” em conjunto com a “Indústria 4.0”, tanto para a implantação de soluções em harmonia socioambiental quanto para o apelo econômico inovador socialmente responsável.

Palavras-chave: economia circular, *design* circular, indústria 4.0, digitalização, sustentabilidade.

ABSTRACT

Global economy is, essentially, linear, but characterized by discontinuous efforts for a “Circular Economy”. The term “Circular Economy” originated in the 1970s, nevertheless its conceptualization developed until reach a convergence, according to Ellen MacArthur in 2010. In this context, there is the intelligent use of resources incorporated into industrial systems, intentionally reparative and regenerative. The foundations of these systems uncover unique opportunities for environmental, economic and social sustainability, as well as for paradigms of a new industry, “Industry 4.0”. The current manufacturing process has been characterized by the convergence of technologies and extensive technological modernization. These advances have transformed the industry into a “smart factory”, with a high degree of computerization of services and production systems, generating socioeconomic and environmental repercussions when it comes to the challenge of sustainability. Regarding on computerization, the digitization in "Industry 4.0" comes bringing greater control and production systems (and services) with intense automation, autonomy, integration, customization, connectivity, optimization, traceability and intelligence in systems, processes and companies for in real-time operations increasing productivity. As for sustainability, the “Circular Economy” and “Industry 4.0”, although they have different concepts, origins, and fundamentals, they connected to the viability of business models in the face of the socio-environmental, economic and technological requirements of a current globalized ecosystem. As a result of this, the general objective of this paper is to discuss the transition to the "Circular Economy" in the context of implementation of the "Industry 4.0" through their interrelationships. Therefore, a literature analysis was carried out to check for association between socio-environmental and economic factors of the “Circular Economy” and the occurrence of the process of implantation of the “Industry 4.0”. The method used was a systematic review of the literature through a selective search in the CAFE database (federated academic community) from CAPES journals, in the search “Subject”, that includes all the available search bases. From the discussion and conclusion of the themes, it can be said that, although the concepts and analyzes presented are discussed in it, it is necessary move on to the practical implementation of the “Circular Economy” together with “Industry 4.0”, both for the implementation of solutions in socio-environmental harmony and for the socially responsible innovative economic appeal.

Keywords: circular economy, circular design, industry 4.0, digitization, sustainability.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
Lista de Figuras	9
Lista de Tabelas	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos Geral e Específicos	17
1.2 Justificativa	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 A Economia Circular	18
2.1.1 Contexto histórico e conceituação	18
2.1.2 A Economia Circular no Brasil	28
2.1.2.1 Conceitos de ativo e passivo ambiental.....	28
2.1.2.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos	29
2.1.2.3 Transição para a Economia Circular	34
2.2 A Quarta Revolução Industrial	37
2.2.1 Contexto histórico das revoluções industriais	37
2.2.1.2 Requisitos para a Indústria 4.0 e seus pilares tecnológicos.....	38
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 Análise dos resultados da revisão da literatura	48
4.2 Uso da Tecnologia Rumo à Transição	49
4.3 Novos Modelos de Negócios	53
4.4 Mudança de Comportamento do Consumidor	57
4.5 Educação e Formação Empreendedora	59
4.6 Ecossistema Integrativo Circular 4.0	61
4.7 Como as Empresas Estão se Adaptando no Brasil e no Mundo	65
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	93
APÊNDICE	101

Lista de Figuras

Figura 1 - Linha do tempo dos principais conceitos desenvolvidos mundialmente que emergiram para a “Economia Circular”.	18
Figura 2 - Diagrama de Borboleta, modelo <i>Cradle to Cradle</i> , para compreensão do modelo da “Economia Circular”.	23
Figura 3 - Modelo esquemático de transição da economia Linear para a “Economia Circular”.	35
Figura 4 - Representação temporal das revoluções industriais versus o grau de complexidade de demandas, tecnologias e processos.	38
Figura 5 - Representação esquemática das principais tecnologias da “Indústria 4.0” empregadas nas “Fábricas Inteligentes”.	44
Figura 6 - Esquema detalhado das etapas da revisão sistemática de pesquisa.	48
Figura 7 - Apresentação gráfica da seleção de artigos em Ano das Publicações por Número de Publicações.	49
Figura 8 - A Simbiose de Kalundborg representa a primeira simbiose industrial do mundo e tem evoluído nos últimos 50 anos.	55
Figura 9 - Bicicleta Brompton dobrável projetada e construída em Londres desde 1975.	55
Figura 10 - Produtos ecológicos da Ecovative.	56
Figura 11 – Aspectos importantes na transição do <i>mindset</i> Linear para o <i>mindset</i> Circular.	58
Figura 12 – Aspectos principais e inter-relações entre a “Economia Circular” e a “Indústria 4.0”.	62
Figura 13 - Diagrama para o desenvolvimento sustentável das organizações na atual revolução industrial para uma “Economia Circular”.	64
Figura 14 - Tecnologia e inovação na Fiat Betim.	66
Figura 15 - SIMA e CETESB estabelecem diretrizes para a garantir expansão segura da utilização do combustível de resíduos sólidos por empresas paulistas.	68
Figura 16 - Em iniciativa inédita, a Cetesb regulamenta a inclusão de metas de coleta e outras condições na implementação e operação de logística reversa.	69
Figura 17 – Serviço de aluguel de estacas pranchas metálicas, visando a atender a obras de contenção temporárias.	73
Figura 18 - Projeto Cadeias Produtivas do açaí na região Amazônica.	74
Figura 19 - Projeto Cadeias Produtivas do licuri na Caatinga.	75
Figura 20 - Projeto Cadeias Produtivas do pirarucu na região Amazônica.	75
Figura 21 - Programa Centro de Recondicionamento de Computadores (CRC) Programando o Futuro, em Valparaíso de Goiás (GO).	76
Figura 22 - Projeto REMATRONIC e Projeto LICOBAT.	78
Figura 23 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) no Brasil, relacionados à “Economia Circular”, conforme Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).	79
Figura 24 - A empresa <i>Schneider Electric</i> recebe o prêmio <i>The Circulars 2019</i> na categoria Multinacional, uma iniciativa do Fórum Econômico Mundial e do Fórum de Jovens Líderes Globais.	82
Figura 25 - “Economia Circular” nas operações da Google.	83
Figura 26 - O Amazon Spheres, também chamado <i>The Spheres</i> , que consiste em um prédio em forma de esferas que faz parte do campus da Amazon no centro de Seattle.	85
Figura 27 - Gestão de inventários da Amazon, logística e robótica nas operações.	87

Figura 28 - Fábrica da Tesla na Califórnia (EUA) mostrando o seu elevado grau de automação.	88
Figura 29 - Robô Daisy, da Apple processa até 200 <i>iPhones</i> por hora.	90

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Etapas principais de desenvolvimento deste trabalho.	16
Tabela 2- Principais tecnologias empregadas nas “Fábricas Inteligentes”	40
Tabela 3 – Estratégia de pesquisa da revisão sistemática da literatura.	46

1 INTRODUÇÃO

A economia global é predominantemente linear, sustentada na extração e beneficiamento crescente de recursos naturais, como os minérios metálicos, dentre outros, seguida da produção de bens (consumo de bens e recursos) e do descarte de resíduos. Nesta forma de economia, a maximização do valor dos produtos (bens) se dá pela maior quantidade de extração e produção. Os produtos obtidos são utilizados, por um período determinado, e descartados como resíduos diversos (pós-consumo, resíduo sólido, resíduo líquido, resíduo gasoso, resíduo radioativo etc.). Quanto ao período de utilidade dos produtos, tem-se que eles são projetados para um tempo de vida específico, onde fatores como fadiga mecânica (ruptura após esforços mecânicos cíclicos), corrosão, degradação ou erosão, ou mesmo obsolescência, definem o momento de descarte. Quando se consideram os resíduos gerados pela economia linear, tem-se o problema da manutenção deste tipo de organização econômica a longo prazo, pois essa manutenção se torna inviável, com convergência à completa exaustão de recursos e do meio ambiente em que se encontram.

A resposta a este problema tem sido os incontinentes esforços para uma “Economia Circular”. Os produtos (bens) obtidos são em parte recicláveis, como os metálicos, e em grande parte não recicláveis, como alguns plásticos termofixos, pois podem se degradar ou dispersar, tornando a sua recuperação economicamente inviável. Essa inviabilidade pode também estar associada a não se ter uma tecnologia apropriada para o processamento do resíduo, visando novos usos ou a sua reciclagem em formas que agreguem valor, ou em formas menos danosas ao meio-ambiente.

O desafio das empresas é utilizar o modelo da “Economia Circular” na transformação dos diversos resíduos assim gerados, tratando-os como passivo ambiental de seus processos produtivos, e transformando-os em ativo ambiental. Segundo o conceito trazido pelo Instituto dos Auditores Independentes do Brasil - IBRACON na Norma de Procedimento de Auditoria Ambiental nº 11 (NPA 11) de agosto de 1996 (IBRACON, 1996), que trouxe a noção da contabilidade ambiental (estabelecendo procedimentos para evidenciação de informações de natureza social e ambiental), o passivo ambiental consiste em:

“... toda a agressão que se pratica ou praticou contra o meio ambiente. Consiste no valor dos investimentos necessários para reabilitá-lo, bem como multas e indenizações em potencial. Uma empresa tem passivo ambiental quando ela agride de algum modo ou ação o meio ambiente e não dispõe de nenhum projeto para sua recuperação aprovado oficialmente ou de sua própria decisão.”

O fluxo dos recursos naturais, na contabilidade ambiental, deve ser repensado para se aplicar menos recursos na sua máxima utilidade. A máxima utilidade abrange o conceito de ecoeficiência, que pressupõe uma produção competitiva com a manutenção da qualidade de vida, minimizando impactos ambientais e o uso de recursos naturais, considerando o ciclo de vida e a ecocapacidade ou biocapacidade do planeta. A utilização inteligente dos recursos, buscando o seu máximo aproveitamento, possibilita que o crescimento econômico não dependa exclusivamente do consumo crescente de novos recursos, possibilitando os chamados “ativos ambientais”.

Ao se repensar o fluxo dos recursos, depara-se com opções que vão além da redução, tais como o desaceleramento, o fechamento do fluxo e, no extremo, a eliminação da fase de destinação final, o que significaria a geração de zero resíduos. Porém, voltando aos passos que antecedem essa fase, algumas alternativas são reutilizar, reparar, compartilhar e reciclar, entre outras, pensando novamente no “ativo ambiental” das empresas.

O modelo de “Economia Circular” propõe o fluxo cíclico dos recursos naturais disponibilizados para o ser humano na natureza para a produção, por meio de cadeias produtivas integradas. Nessas cadeias, os recursos operam no mais alto nível de utilidade e valor, compondo um sistema industrial intencionalmente reparador ou regenerativo (não destrutivo e predatório), o que é benéfico dos pontos de vista operacional e estratégico, mas também apresenta grande potencial de inovação, geração de empregos e crescimento econômico.

Ao mesmo tempo em que se dá o desenvolvimento do pensamento da “Economia Circular”, mostrando-se um movimento em construção, ocorre a implantação da manufatura mais avançada (da Terceira para a Quarta Revolução Industrial), num extenso processo de industrialização, principalmente, pelo alto grau de informatização trazido na evolução tecnológica da “era digital”.

A Quarta Revolução Industrial, com a “Indústria 4.0”, trouxe a convergência de várias tecnologias de informação para a consolidação de indústrias mais eficazes e eficientes, assim tornando-as “fábricas inteligentes”. Tecnologias, como a “internet das coisas” (*IoT*), vêm sendo empregadas nas áreas de produção, logística, manutenção, na rastreabilidade de produtos, através de dispositivos inteligentes, operando como parte de sistemas ou em sistemas que compõem a cadeia de valor das empresas, como os sistemas ciberfísicos, simulando os processos produtivos no mundo físico (real) para os ambientes digitais.

Os sistemas ciberfísicos integram a computação com os processos físicos (*softwares* e máquinas), assim computadores e redes incorporam, monitoram e controlam os processos físicos, e os realimentam com informações e dados. Dessa forma, as empresas podem

representar a realidade do mundo físico em ambientes digitais, o que possibilita novas formas de produção, otimização em tempo real e simulação de cenários, com maior precisão e criação de valor.

Outra forma de simulação e otimização da produção pode ser realizada através da “manufatura aditiva”. A “manufatura aditiva” é aplicada no desenvolvimento de produtos, num processo denominado “prototipagem rápida”, onde são feitos modelos dos projetos de produto para testes físicos diversos, economizando-se tempo e custos para a produção e melhoria de um produto. A “manufatura aditiva”, assim, permite otimizar as iterações do projeto com os produtos. Ainda, a “manufatura aditiva”, assim como a “impressão em 3D” na prototipagem, pode atuar descentralizando a produção e reduzindo a razão do consumo por desperdício de matérias-primas. A diminuição desta razão possibilita a produção em pequena escala, bem como a produção de peças com formas complexas, a produção com *design* customizável, a diminuição da geração de resíduos, a diminuição de estoques e riscos de obsolescência, além da possibilidade de maior variedade de materiais, podendo esses serem reciclados.

A “manufatura avançada” introduz o uso de *big data* (processamento de dados) para análise de grandes volumes de dados, com dados em diversos formatos e fontes. A tecnologia *big data* traz, assim, grandes benefícios nos processos de produção, tanto para a identificação de cenários que tenham a probabilidade da ocorrência de uma parada de produção, quanto para a identificação de gargalos no processo produtivo, na área de qualidade, no rastreamento de defeitos, na área de suprimentos, no *design* de produtos personalizados, no monitoramento de equipamentos em tempo real, dentre outros.

Outro conceito introduzido pela “manufatura avançada” é o de rastreabilidade pela *blockchain*. A tecnologia *blockchain* é uma ferramenta baseada em um protocolo P2P (*peer-to-peer*, ou comunicação de ponto a ponto) descentralizada, em que os blocos de informação (ou transações) criptografados são enviados para um destinatário (nó) e, ao mesmo tempo, transacionados para diferentes nós (com iguais privilégios e influência neste ambiente digital) para validação anônima. Na *blockchain*, tem-se, assim, um registro de validação anônimo e coletivo de informações onde qualquer operador anônimo de computador, conectado em algum nó dessa rede de informações, tem a tarefa de validar informações de forma descentralizada (e utilizando um algoritmo de consenso para elevar a confiança da informação), repassando essas informações (transações) para os outros diferentes nós validarem. A confiança trazida pela *blockchain* é bastante útil nos processos de rastreabilidade de produtos, na produção para monitoramento e controle de qualidade, na logística para localização e otimização da entrega de produtos e no pós-venda, pois permite acessar (auditar) o histórico linear do produto,

auxiliando no desenvolvimento e na credibilidade do produto (ou marca).

Portanto, a “manufatura avançada”, como toda a alta informatização digital e aporte tecnológico trazidos com e junto a esta Quarta Revolução Industrial, possibilita uma ampla expansão dos processos produtivos. Contudo, a expansão gerada, sinaliza também para desafios na contabilidade ambiental decorrentes dos impactos, ao meio ambiente, herdados dos modelos lineares de crescimento econômico. Esse modelo linear da economia, baseado no consumo, na posse, no fácil acesso aos recursos, trouxe e traz o esgotamento de recursos naturais, a acumulação de resíduos e a toxicidade em toda a cadeia produtiva, enfim, o modelo linear não responsabiliza as empresas pelo “passivo ambiental” gerado, e nem incentiva os “ativos ambientais”.

A resposta que se tem a esse dilema (problema) com a “Indústria 4.0”, novamente, é a “Economia Circular”. A “Indústria 4.0” e a “Economia Circular” têm conceitos, origens e fundamentos diferentes, contudo, as tecnologias digitais oriundas (ou trazidas junto) da “Indústria 4.0” podem viabilizar a implantação da “Economia Circular”, que demanda tecnologias avançadas, estabelecendo assim uma relação de reciprocidade (inter-relação) entre essas. É interessante observar que, a digitalização é objetivada pelas indústrias por seus benefícios, a fim de manter a sua competitividade no mercado, enquanto isso, a “Economia Circular” ainda se mostra uma quebra de paradigma junto aos modelos produtivos e de negócios.

Em termos de modelos de negócios, um exemplo popular é o uso compartilhado de bicicletas e patinetes para transporte ou passeio por alocação digital via aplicativo de celular. Neste uso, de certa forma compartilhado, o acesso ao produto (na forma de serviço digital de locação de veículo, que de certa forma é distribuído online para gerar vendas de locação) é realizado via aplicativo de aluguel com disponibilidade pública pelo celular. Nessa locação, tem-se o exemplo do uso da tecnologia digital, no ambiente de demanda popular de negócios, num modelo que se pode denominar de circular da economia. Essa mudança na forma de utilizar produtos e serviços mostra uma mudança no modelo de negócio e no comportamento do consumidor, que em sua demanda pelo serviço precisa ter acesso temporário ao produto e não a sua posse (do produto ofertado por locação digital). A partir do exemplo de serviço de locação digital de produtos, o mesmo pode ser aplicado às empresas que utilizam serviços de aluguel / contratação por tempo determinado, por exemplo, e que podem se beneficiar com a diminuição da necessidade de grandes investimentos.

De forma complementar, as mudanças de comportamento do consumidor (*mindset*) com a “Economia Circular” não são simples e necessitam passar por readaptação. Assim, vários

aspectos estão envolvidos na mudança de *mindset* do linear para o circular. Essa mudança demanda uma mudança no escopo, que necessita deixar de ser do processo em si e passar para o ecossistema. A premissa de eficiência deve passar a efetividade. A eficiência, neste contexto, relaciona-se a um trabalho bem realizado, enquanto a efetividade diz respeito à capacidade de produzir e manter um efeito, que no caso é positivo, como a redução de custos por exemplo. A proposta de valor na redução de custos pode ir além, para uma visão de geração de valor. O foco nos lucros deve passar à inovação e aos novos valores. Em termos das *personas*, os *shareholders* (proprietários e acionistas) podem incluir demais interessados como *stakeholders* (todas as partes interessadas). Um importante ponto no modelo circular é que a ética da competição deve ser abandonada, para tornar-se uma ética da colaboração. Quanto ao papel do consumidor, ele desempenha agora o papel de usuário. A visão de curto prazo pode assim ser ampliada para o longo prazo.

O esforço da mudança circular pelas empresas inclui, além da produção, a oferta de serviços em detrimento da oferta de produtos. Além disso, as relações de trabalho também são afetadas, pois o processo de digitalização / automação nas indústrias e serviços passa a requerer mão de obra mais especializada para atuar com as novas tecnologias e com as novas formas de trabalho, o que demanda qualificação profissional e gera um grande impacto social. Tanto profissionais quanto empresas precisam se preparar para novos padrões de competitividade no mercado de trabalho e se adequar às demandas e regulações das políticas públicas.

Em termos de políticas públicas, a regulamentação é um aspecto bem importante, tanto para as tecnologias da “Indústria 4.0” quanto para a “Economia Circular”, pois pode inviabilizar um projeto produtivo ou de manufatura por infringir o que se espera, junto ao governo, no trato do passivo ambiental. Como exemplo de infração recente, tem-se a multa e indenizações milionárias (em dólares) aplicadas pelo Governo de Minas Gerais (em ação no Ministério Público de Minas Gerais em 2017) às empresas Samarco, Vale e BHP pelo rompimento da barragem do Fundão (em Minas Gerais). A ação pública produziu a interrupção da produção da Samarco e dos empreendimentos da Vale e da BHP na extração mineral de suas plantas na região do rompimento e, também, uma auditoria nas demais plantas dessas empresas citadas. Essas infrações, paradas, multas e indenizações poderiam ser evitadas com a implantação do modelo de “Economia Circular”. Contudo, ainda não se teve uma rodada pública sobre a “Economia Circular” e suas demandas de tecnologias, pessoas e instituições capazes de dominá-las e aplicá-las nos processos das indústrias e no dia a dia para uma melhor qualidade de vida.

A mudança para uma “Economia Circular” com tecnologias da “Indústria 4.0” constitui uma oportunidade para que empresas, consumidores, governo e demais atores entendam esse modelo e cooperem para enfrentar com êxito um mercado cada vez mais competitivo e com exigências ecológicas.

Assim, o desenvolvimento deste trabalho (Tabela 1) partiu da elaboração da questão norteadora como ponto chave para a sua condução: “a “Indústria 4.0” pode ser considerada uma viabilizadora para a “Economia Circular”, através de suas inter-relações, quanto ao maior controle do *design* no processo produtivo e de seus possíveis impactos como um todo? A hipótese que se tem como resposta a esta pergunta motivadora é que sim, e de que a convergência entre a “Economia Circular” e a “Indústria 4.0” é essencial para a sustentabilidade de processos e serviços na administração moderna. A questão norteadora trata os temas centrais e busca avaliar a relação entre eles, principalmente como forças viabilizadoras de uma perante a outra. Assim, a revisão da literatura trata dos dois temas, trazendo uma base de conhecimento conceitual e histórica. Na discussão de resultados, são apresentados diferentes aspectos para tratar as relações/inter-relações entre a “Economia Circular” e a “Indústria 4.0”. Para conclusão, a partir desse ponto, apresentam-se as considerações finais que trazem onde estamos no contexto da “Economia Circular” – “Indústria 4.0” e para onde queremos caminhar.

Tabela 1 – Etapas principais de desenvolvimento deste trabalho.

1. Elaboração da questão norteadora: ponto chave de desenvolvimento do trabalho
A “Indústria 4.0” pode ser considerada uma viabilizadora para a “Economia Circular”, através de suas inter-relações, quanto ao maior controle do <i>design</i> no processo produtivo e de seus possíveis impactos como um todo?
2. Revisão da literatura: base de conhecimento
Economia Circular: Histórico e conceituação / Contexto brasileiro / Ativo e passivo ambiental / Política Nacional de Resíduos Sólidos
Indústria 4.0: Histórico das revoluções industriais / Requisitos e pilares tecnológicos
3. Resultados e discussão: aspectos importantes das inter-relações
Uso da tecnologia / Novos modelos de negócios / Comportamento do consumidor / Educação e formação empreendedora / Ecossistema integrativo circular 4.0 / Como as empresas estão se adaptando
4. Considerações finais: onde estamos e para onde queremos caminhar

Fonte: Elaborada pela autora.

1.1 Objetivos Geral e Específicos

O objetivo geral deste trabalho é discutir a transição para a “Economia Circular”, no contexto de implantação da “Indústria 4.0”, através das suas inter-relações. Para tanto, tem-se como objetivos específicos:

- analisar meticulosa, e amplamente, as publicações correntes, pela revisão bibliográfica sistematizada sobre o tema “Economia Circular” e “Indústria 4.0”, e explorar as características históricas e os principais dados obtidos;
- levantar as ferramentas da “Indústria 4.0” e do *design* produtivo que favorecem o desenvolvimento da “Economia Circular”;
- apontar a visão das oportunidades de negócios que surgem com a “Economia Circular” e que mitigam as barreiras atuais;
- verificar o panorama brasileiro de desenvolvimento de ações visando à “Economia Circular”.

1.2 Justificativa

O sistema da “Economia Circular” acrescenta vários conceitos que fomentam uma administração sustentável e, de certa forma, complementam a “Indústria 4.0”. Desta forma, o tema “Economia Circular” se torna atual e importante, pois o conhecimento dos conceitos envolvidos possibilita uma melhor compreensão dos benefícios dos ativos socioeconômicos e ambientais à produção industrial, e à sociedade como um todo. Para que haja êxito na implantação da “Economia Circular” é necessário se ter uma visão ampla do sistema, enfrentando restrições e barreiras legais (regulatórias, entre outras), como oportunidades de negócios sustentável, a fim de construir um ambiente que perdure além do atual, baseado na economia linear. O entendimento conceitual e da implantação dos avanços oriundos da Quarta Revolução Industrial e, de sua convergência às diversas soluções sustentáveis, esperadas na implantação da “Economia Circular”, pode viabilizar processos, produtos e serviços para a indústria de forma perene, porém responsável socioeconômica e ambientalmente. Assim, justifica-se o trabalho de revisão sistemática com o tema “Economia Circular” e “Indústria 4.0”, pelas contribuições potenciais de seu conteúdo à reflexão e ao entendimento dos impactos administrativos de sua implantação no setor produtivo industrial moderno.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Economia Circular

2.1.1 Contexto histórico e conceituação

Os primeiros conceitos da “Economia Circular” surgiram na década de 70, na Suíça com Walter R. Stahel, com o Pensamento em Ciclos ou Economia de Performance; em seguida a Ecologia Industrial nos EUA com Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos; a Simbiose Industrial no Japão; o Design Regenerativo com Jhon T. Lyle; o *Triple Bottom Line* de Jhon Elkington na década de 90 com o conceito econômico da sustentabilidade; a Biomimética por Janine Benyus; o *Cradle to Cradle* por Michael Braungart em coautoria com William McDonough, fonte do pensamento ecológico mundial em 2002 e, por fim, a “Economia Circular” pela *Ellen MacArthur Foundation* em 2010 (Ellen MacArthur Foundation A, 2021; CIESP, 2020). A Figura 1 apresenta a linha do tempo da contribuição dos diversos pesquisadores supracitados para o desenvolvimento da “Economia Circular”.

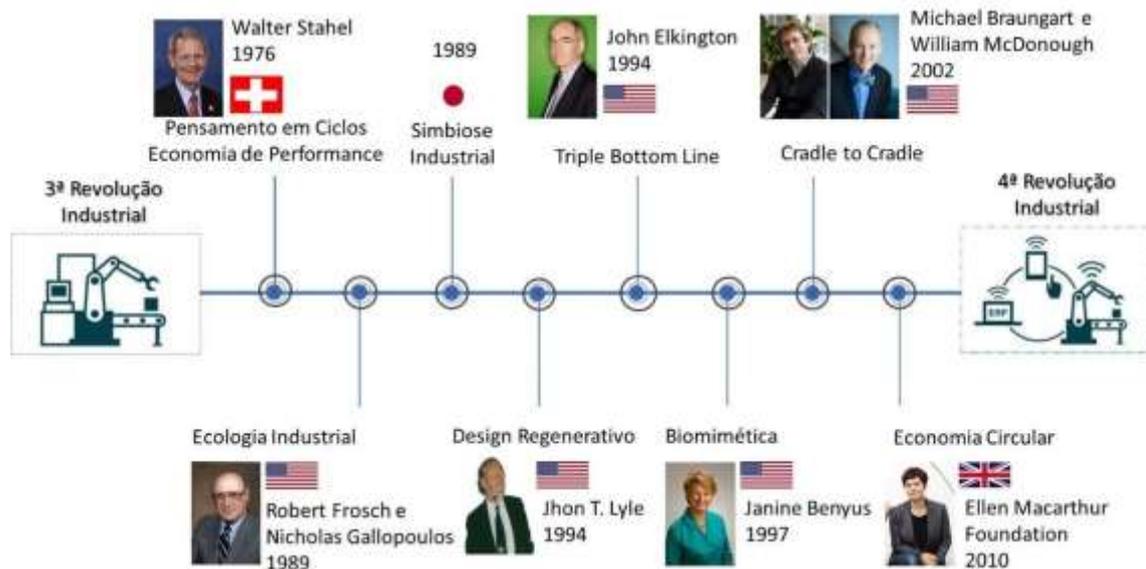


Figura 1 - Linha do tempo dos principais conceitos desenvolvidos mundialmente que emergiram para a “Economia Circular”.

Fonte: Elaborada pela autora.

No final da década de 1970, Walter Stahel, arquiteto e economista, esboçou em seu relatório de pesquisa para a Comissão Europeia “O potencial de substituir mão-de-obra por

energia”, a visão de uma Economia em Ciclos e seu impacto na criação de emprego, competitividade econômica, redução de recursos e prevenção de desperdícios. Stahel pensava que se as pessoas continuassem a aumentar o consumo, haveria grandes problemas no futuro, de forma que a economia linear não era sustentável devido ao aumento da demanda por matérias-primas e a acumulação de resíduos, então ele teve a ideia de fechar os ciclos dos materiais, estudando e desenvolvendo casos comerciais nos anos seguintes (Ellen MacArthur Foundation A, 2021; Sehnem & Pereira, 2019).

No campo da Ecologia Industrial, o artigo “Estratégias de manufatura”, de Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos, publicado em 1989 na *Scientific American*, foi uma das primeiras referências para a construção desse conceito. Foram criadas analogias com materiais e fluxos de energia em ecossistemas naturais, a fim de argumentar que os meios para gerar o desenvolvimento sustentável ocorrem via ciclo de materiais e através da troca de subprodutos e resíduos. O foco da análise é a sustentabilidade dos fluxos de recursos entre empresas, pois os fluxos são os possíveis agentes de melhoria ambiental e possuem conhecimento tecnológico para a execução do design ambientalmente inteligente de produtos e processos. Pensando-se dessa maneira, as economias deixariam de ser lineares, para tornarem-se circulares. A Ecologia Industrial adota um ponto de vista sistêmico, projetando processos de produção de acordo com as restrições ecológicas locais, enquanto observa seu impacto global, e procura moldá-los para que funcionem o mais próximo possível dos sistemas vivos (Ellen MacArthur Foundation A, 2021; Sehnem & Pereira, 2019; Leitão, 2015).

Como parte da Ecologia Industrial, a Simbiose Industrial teve o Japão como um dos países pioneiros a tratar dessa temática, quando no final da década de 1960 o governo contratou uma consultoria independente para investigar possibilidades de orientar a economia do país para atividades baseadas em informação e conhecimento, com menor grau de dependência do consumo de materiais. Tem-se como exemplo de Simbiose Industrial o parque eco-industrial de Kalundborg, na Dinamarca, reconhecido como caso bem-sucedido, em que as companhias realizam o intercâmbio de materiais e energia para serem usados como insumo, formando um ciclo fechado de produção. Estabelecido desde 1972, ao longo dos anos, outras empresas se juntaram à Simbiose Kalundborg, e em 1989, o termo Simbiose Industrial foi usado, pela primeira vez, para descrever a colaboração entre empresas (NEITEC, 2021).

A Simbiose Industrial envolve cooperação, colaboração, compartilhamento e a possibilidade de sinergia entre diferentes setores da economia (indústria), propriedade, geografia (instalações), ou função (atividades e processos), em uma abordagem coletiva visando vantagem competitiva mutuamente benéfica sob o ponto de vista econômico e

ambiental. Envolve o intercâmbio físico de materiais, energia, água, subprodutos, infraestruturas e a reutilização de resíduos de uma empresa por outra, que os converte em recursos. Isso tudo, mesmo quando os limites das empresas mudam no tempo, através de fusões, aquisições ou relações de Simbiose Industrial de longa data (Sehnm & Pereira, 2019).

Posteriormente, em 1994, Jhon T. Lyle inaugura o Centro Lyle de Estudos Regenerativos e publica o livro “Design Regenerativo para o desenvolvimento sustentável”. O Design Regenerativo consiste em uma abordagem orientada a processos para o design, que pode ser aplicada a todos os sistemas. O termo regenerativo descreve processos que restauram, renovam ou revitalizam suas próprias fontes de energia e materiais, criando sistemas sustentáveis que integram as necessidades da sociedade com a integridade da natureza. O objetivo final do projeto regenerativo é desenvolver sistemas com eficácia absoluta, que permitam a coevolução da espécie humana, juntamente com outras espécies (Ellen MacArthur Foundation A, 2021).

O modelo *Triple Bottom Line* (conhecido como TBL, 3BL ou Tripé da Sustentabilidade), também datado de 1994, é um conceito criado pelo sociólogo britânico John Elkington. O *Triple Bottom Line* está relacionado às estratégias de desenvolvimento sustentável que agregam a promoção da economia junto com a preservação e conservação ambiental e a participação social. Este modelo mostra uma integração nos negócios com uma preocupação maior com o conceito econômico da sustentabilidade, assim a sua implementação cria benefícios igualmente econômicos, sociais e ecológicos. Nesse modelo, essas três dimensões devem interagir de forma holística. Quando isso é feito com êxito, a empresa pode ser enquadrada como sustentável (Khan et al., 2021; Venturini & Lopes, 2015).

O conceito da Biomimética surge com o lançamento do livro “Biomimética: inovação inspirada pela natureza”, em 1997 nos Estados Unidos e em 2003 no Brasil, pela bióloga norte-americana Janine Benyus, e uma das fundadoras do *Biomimicry Institute*, em Montana (EUA). A Biomimética parte do conhecimento, já existente da natureza, e consiste na imitação dos seus modelos, sistemas e elementos para a busca de soluções eficazes e eficientes de problemas humanos complexos, mas que sejam soluções sustentáveis. A natureza, por si só, é inovadora por necessidade, basta observar o modo como ela atua, e o seu caráter sustentável. A natureza é vista como modelo (nas simulações), como medida (nos padrões) e como mentora (na aprendizagem). Assim a Biomimética trouxe, a partir do conhecimento da natureza, o desenvolvimento do conceito de *design* de produtos sustentáveis (Ellen MacArthur Foundation A, 2021; Leitão, 2015).

Em 2002, o *Cradle to Cradle* (C2C), que quer dizer “do berço ao berço”, foi título de

um livro-manifesto publicado pelo engenheiro químico alemão Michael Braungart e pelo arquiteto americano William McDonough, que veio a se tornar uma das obras mais influentes do pensamento ecológico mundial (no Brasil publicado em 2014). O C2C envolve a manutenção de todos os materiais em ciclos contínuos, a estimulação do uso de energias renováveis e a celebração da diversidade. O pensamento “do berço ao berço” surge em oposição à ideia de que a vida de um produto deve ser considerada “do berço ao túmulo” – uma expressão usada na análise de ciclo de vida para descrever o processo linear. Para o C2C os recursos devem ser geridos por uma lógica circular de criação e reutilização, permitindo que os recursos sejam utilizados indefinidamente e circulem em fluxos seguros e saudáveis. O *design* C2C busca eliminar o conceito de resíduo, incentivar o uso da energia de fontes renováveis e respeitar os impactos locais (Ellen MacArthur Foundation A, 2021; Ideia Circular D, 2021).

Apesar de o tema da “Economia Circular” ter surgido no final da década de 80, o conceito emergiu fortemente, em escala mundial, apenas em 2012, quando a *Ellen MacArthur Foundation* publicou o primeiro de uma série de relatórios intitulados “Em direção a uma Economia Circular”, e particularmente no Brasil, as discussões sobre a sua implementação são ainda mais recentes (Azevedo, 2015).

A *Ellen MacArthur Foundation*, organização sem fins lucrativos, foi criada em 2010. A sua missão é acelerar a transição para a “Economia Circular”, assim ela defende que a “Economia Circular” substitui o “fim-de-vida” pela restauração, evolui para a utilização de energia renovável, elimina o uso de produtos químicos tóxicos que prejudicam a reutilização, e tem como objetivo a eliminação de resíduos através do *design* superior de materiais, produtos, sistemas e modelos de empresas (Leitão, 2015).

Todo esse movimento dentro do setor produtivo visando a adoção da “Economia Circular”, evidenciou a abordagem de práticas de “produção mais limpa” por volta dos anos 90, *ecodesign* e projeção de “produtos ambientalmente corretos” por volta dos anos 2000, “inovação em modelos de negócios com integração de produtos” por volta de 2010, que então evoluíram para a “Economia Circular”. Nessa linha de pensamento, a inovação torna-se sistêmica, com a formação de um ecossistema de negócios circular que envolve toda a cadeia, passa a integrar novos *stakeholders* além dos tradicionais empresas-consumidor. Além do que, o consumidor nesse sistema tem múltiplas opções a escolher (CIESP, 2020).

A ideia de “produção mais limpa”, por exemplo, buscava identificar as causas da geração de resíduos e desperdícios, e melhorar a eficiência de processos através de tecnologias, gestão, técnicas, práticas que objetivassem eliminar a geração de resíduos. Tais causas, por vezes, não estavam na empresa, podiam estar na baixa qualidade da matéria-prima desde a sua

extração, ou no processo de manufatura do produto, na fase de uso ou no posterior uso do produto, sendo necessário ampliar a visão para o ciclo de vida do produto (AMB, 2020).

Passamos de um modelo disciplinar focado no desenvolvimento industrial, nos resultados da indústria, voltado para a produção em massa, e entramos no século XXI (anos 2000) em um modelo transdisciplinar, focado no desenvolvimento social, além dos processos, cujo mote principal é o propósito da empresa, dizer a que veio, como fará para alcançar e que legado pretende deixar (AMB, 2020).

A “Economia Circular” propõe a circulação de recursos por meio de cadeias produtivas integradas. A destinação passa do gerenciamento de resíduos a um processo de *design* de produtos e sistemas. Dessa forma, a “Economia Circular” consiste em um sistema industrial intencionalmente reparador ou regenerativo, que busca trazer benefícios operacionais e estratégicos, bem como um enorme potencial de inovação, geração de empregos e crescimento econômico (Sehnem & Pereira, 2019).

Muito conhecido no meio da “Economia Circular”, tem-se o Diagrama de Borboleta que consiste em uma poderosa ferramenta para a compreensão sobre como se aplica o modelo da “Economia Circular” na prática, Figura 2. Ele apresenta uma visão holística dos principais pressupostos do modelo, as alterações propostas e as várias soluções que facilitam a transição do modelo linear para o Circular. O Diagrama de Borboleta teve como inspiração o modelo dos autores do livro “Cradle to Cradle” e foi desenvolvido pela Ellen MacArthur Foundation, sendo apresentado em vários dos relatórios, apresentações e atividades dessa entidade (BeeCircular, 2021).

O Diagrama de Borboleta (Figura 2) é dividido em duas grandes áreas: o ciclo Biológico (à esquerda) e o ciclo Técnico (à direita), que apresentam os fluxos cíclicos de materiais como Nutrientes. O primeiro ciclo constitui-se dos materiais que podem ser reinseridos na natureza, para além de serem renováveis, têm a capacidade de se decomporem (ex: madeira, papel, cortiça, algodão etc.), referem-se a produtos de consumo e que são, em grande parte, regenerados no próprio ciclo Biológico. Já no segundo ciclo, os materiais precisam de algum tipo de tecnologia / investimento para serem reinseridos no ciclo, para além de serem finitos, não se decompõem, razão pela qual o seu tempo de vida útil deve ser prolongado até ao limite da sua capacidade (ex: alumínio, ferro, plástico etc.) (Assunção, 2019; BeeCircular, 2021).

Dessa forma, os materiais biodegradáveis, ou obtidos de matéria vegetal, se tornam nutrientes Biológicos ao serem absorvidos pelo meio ambiente, ao mesmo tempo, os materiais sintéticos ou minerais podem ser continuamente mantidos em ciclo fechado, tornando-se nutrientes Técnicos. Quando o fluxo de materiais pode ser mantido continuamente num ciclo

industrial fechado, o que antes era considerado resíduo passa a ser matéria-prima de outro processo. Nesta abordagem, os sistemas industriais podem operar minimamente conforme o ciclo Biológico da natureza, diminuindo a extração de matérias primas, o consumo de energia e a produção de resíduos, e conseqüentemente, a degradação ambiental, promovendo a eficiência econômica (Leitão, 2015).

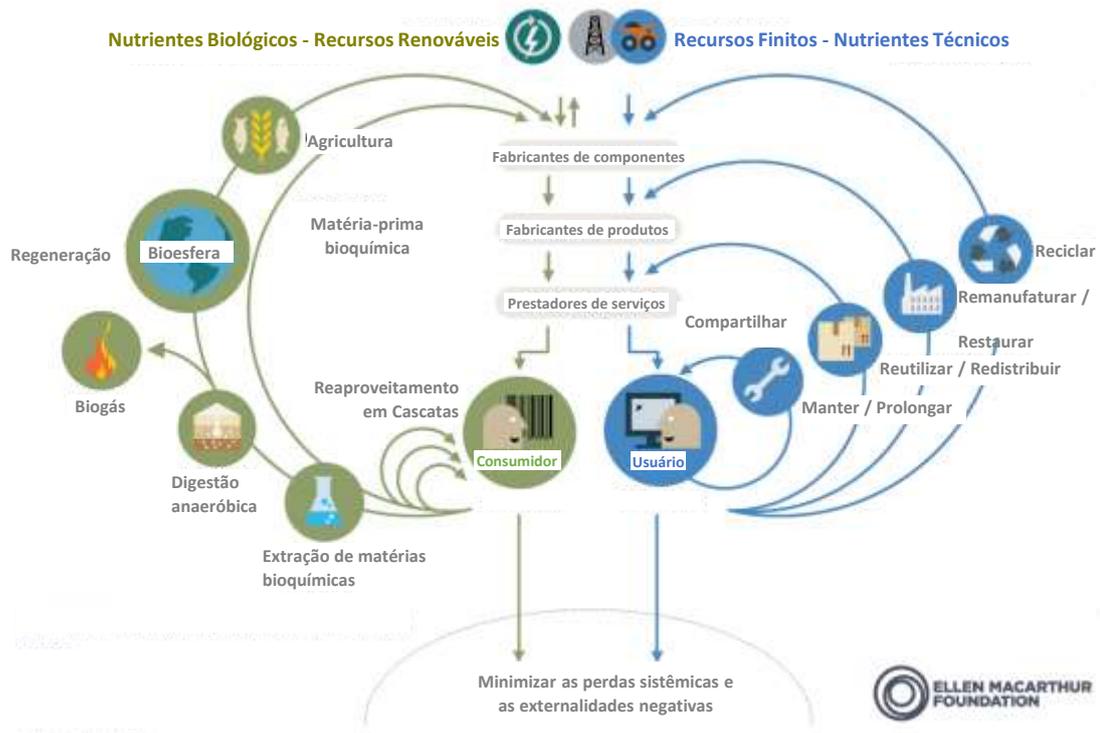


Figura 2 - Diagrama de Borboleta, modelo *Cradle to Cradle*, para compreensão do modelo da “Economia Circular”.

Fonte: Ellen MacArthur Foundation B, 2021.

O modelo da “Economia Circular”, de acordo com o Diagrama de Borboleta, possui quatro ciclos Técnicos, onde os materiais podem ser recolocados em produção, sem perda de qualidade, são eles: a) manutenção do produto; b) reutilização/redistribuição – produto usado; c) atualização/remanufatura do produto e d) reciclagem de produto. No ciclo menor (manutenção do produto) o produto/material retém o valor mais alto, pois pode ser aplicado mais vezes, de acordo com sua finalidade original. Enquanto isso, no ciclo maior (reciclagem de produto) o valor residual do produto tende a se tornar mais baixo (Sehnm & Pereira, 2019).

O ciclo Técnico consiste na gestão de recursos finitos (nutrientes Técnicos). Assim a

ideia de consumo (como no ciclo Biológico) é substituída pelo uso, os nutrientes técnicos são recuperados e, em sua maior parte, restaurados, ou seja, circulam em ciclos industriais fechados, especialmente aqueles que não são produzidos de forma contínua pela biosfera. Os produtos incorporados no ciclo Técnico devem ser compostos por materiais 100% recicláveis e projetados para que suas partes possam ser desmontadas facilmente e a qualidade dos materiais recuperada ou melhorada, para serem utilizados na fabricação de novos produtos (Assunção, 2019).

A possibilidade de criação de múltiplos ciclos de uso de materiais / produtos diminui a necessidade de utilização de novos recursos e diminui também o desperdício. Nesse modelo, os produtos / serviços são pensados para circular de modo eficiente, em que o que se procura é a interligação na rede de negócios para a transformação dos materiais. Isso permite que, se determinado componente de um produto não puder ser recolocado na produção da empresa que o fabricou, ele poderá ser transformado pelo seu fornecedor, ou por um terceiro que tenha interesse, criando novos fluxos de receita (Azevedo, 2015).

Considerando o diagrama de Borboleta, no processo de transição para a “Economia Circular” existem 3 princípios que devem ser respeitados (BeeCircular, 2021; Ellen MacArthur Foundation, 2015):

1. Preservar e aprimorar o capital natural, promovendo uma utilização eficaz dos recursos finitos e equilibrando a utilização dos recursos renováveis

Na parte superior do Diagrama de Borboleta, tem-se a separação entre as matérias-primas renováveis, designadas por nutrientes Biológicos e os materiais finitos ou nutrientes Técnicos. Para que o modelo proposto seja efetivamente regenerador e restaurador, é necessário que a energia que alimenta todo o processo seja uma energia “limpa”, vinda de fontes renováveis. Além disso, os processos e os produtos devem ser pensados e desenhados, de modo a agilizar e potenciar este modelo. O *design* dos produtos deve facilitar a separação de seus componentes, para que possam ser encaminhados para o ciclo correto, devendo ter um *design* modular. A escolha dos materiais é também importante, os componentes tóxicos devem ser eliminados para garantir a segurança e eficácia dos processos, e para proteger a saúde pública e o ambiente. A digitalização dos processos é também relevante na medida em que, promove uma maior eficácia na utilização dos recursos e nas atividades desenvolvidas.

2. Potencializar a utilidade dos produtos, componentes e materiais, mantendo-os a circular na economia até ao limite da capacidade, tanto no ciclo Técnico quanto no Biológico

Na parte central do Diagrama de Borboleta, tem-se uma separação entre os fabricantes de componentes e os fabricantes de produtos, pois isso promove uma uniformização dos componentes e facilita a sua contínua reintrodução no sistema econômico; mais abaixo tem-se os prestadores de serviços, pois neste modelo devem ser favorecidos os modelos de negócio que otimizem a utilização dos recursos e características como qualidade, *design* modelar, durabilidade, fácil reparação, adaptabilidade e circularidade como vantagem competitiva.

Cabe destacar também a distinção entre consumidor e usuário, pois como o nome indica, os nutrientes Biológicos são consumidos (ex: bens alimentares, roupas de tecidos de origem natural, papel, etc.) e os nutrientes Técnicos são utilizados, podendo ainda a utilização ser partilhada (ex: ferramentas, bicicletas, eletrodomésticos, etc.).

No ciclo dos nutrientes Técnicos, propõem-se alternativas que tem como objetivo a restauração de recursos finitos, dado que existe um conjunto de soluções para prolongar o ciclo de vida dos produtos e componentes. Primeiramente, devem ser facilitadas as alternativas que permitam a manutenção e a reparação dos produtos, de modo a prolongar o seu tempo de vida útil. Devem também ser favorecidas as soluções que promovam a utilização dos recursos de forma partilhada, potenciando a sua utilidade. Quando um usuário já não deseja mais um determinado produto, devem então existir canais que permitam a recolha, manutenção ou redistribuição dele. Quando um produto se torna obsoleto, ou já não seja passível de reparação, este deve ser encaminhado, de modo a ser desconstruído e os seus componentes aproveitados para a produção de novos produtos. Quando nenhuma destas soluções for viável, então os recursos devem ser encaminhados para os processos de reciclagem adequados.

Do lado dos nutrientes Biológicos, a solução mais próxima do consumidor é a reutilização em cascata, onde os recursos vão sendo reaproveitados ciclicamente para diversos fins, consoante a sua aplicabilidade. Esta alternativa pode ser aplicada em diversos casos, como é o exemplo dos tecidos de origem natural por exemplo, uma peça de roupa feita de algodão orgânico pode ser reaproveitada para produzir novas peças ou acessórios, que por sua vez podem ser reutilizados para produzir material de isolamento para a construção ou enchimento para almofadas ou *puffs*. Isto se aplica em materiais como a cortiça ou a madeira.

Dos nutrientes Biológicos podem ser extraídas as matérias bioquímicas para a produção de biogás. Os nutrientes remanescentes podem ser devolvidos à biosfera de forma segura em forma de composto, regenerando assim os solos e a sua fertilidade, e fechando o ciclo dos nutrientes.

Em ambos os ciclos, sempre que possível, devem ser favorecidas as alternativas mais próximas do usuário / consumidor, pois quanto mais próximo destes, menores são os recursos,

tempo, dinheiro e pessoas necessárias, e mais integridade e qualidade dos materiais é mantida e respeitada. Adicionalmente, devem ser aplicadas medidas que prolonguem o tempo que cada componente se mantém em cada ciclo, reduzindo assim a necessidade de produzir novos componentes, o que leva a uma contínua redução da dependência de recursos “virgens”.

3. Desenvolver sistemas eficazes, que minimizem o volume de resíduos que terminam em aterro e que excluam as externalidades negativas

Com a aplicação contínua, integrada e sistêmica deste modelo pelas indústrias e suas comunidades, é possível não só minimizar o volume de recursos que termina em aterro, mas também as externalidades negativas que são geradas com as atividades das indústrias.

Durante muito tempo as organizações estiveram concentradas em fazer menos mal, focando-se na eficiência dos processos. O problema é que fazer menos mal, é continuar a fazer mal, mas em menor proporção, situação que não resolve o problema e não contribui para a resolução dos atuais desafios ambientais que temos pela frente, devido ao sistema insustentável que foi aplicado nas últimas décadas. O foco deve ser em fazer bem (eficácia) e em construir sistemas resilientes, que sirvam efetivamente às necessidades das comunidades e contribuam para sua evolução. Fazer bem passa por gerar valor para todas as partes envolvidas, incluindo as organizações, comunidades, seres vivos e meio ambiente.

Em termos de implementação do conceito da “Economia Circular” de forma geral, esta pode ocorrer em diferentes níveis: ao nível da empresa, no que se refere à conversão de processos produtivos em práticas mais limpas; ao nível interempresarial, cabendo mencionar a Simbiose Industrial que inclui práticas como a partilha de infraestruturas e a reutilização de resíduos de uma empresa por outra; e ao nível do município ou entidade territorial, com a colaboração entre diversos agentes – empresariais e governos (Sehnem & Pereira, 2019).

O modelo de “Economia Circular” apresenta ainda quatro estágios importantes com diferentes graus de envolvimento da empresa, da cadeia, da sociedade, do governo, demais interessados, nos quais as empresas precisam se engajar para aderirem ao modelo (Sehnem & Pereira, 2019):

- 1º estágio: *design* de produto - se aplica à melhorias na escolha dos materiais e *design* de produtos, que incluem padronização e modularização de componentes, fluxos de material puro e *design* para desmontagem direta. A implementação dessas estratégias, por si só, já torna o processo de produção mais eficiente.

Nesse estágio, algumas questões podem ser avaliadas: custo real do produto; valor dos fluxos residuais e como ocorrem; se fluxos residuais são usados para produtos

novos ou outros; como o produto deve ser transportado, embalado e comercializado; como o processo de produção pode ser otimizado em termos ecológicos e econômicos; o ciclo de vida do produto; se o ciclo será ampliado; quais materiais devem ser excluídos no design do produto, não só de uma perspectiva funcional, mas também em termos de saúde e outros aspectos indiretos; como os materiais podem ser identificados e rotulados para reciclagem futura; como reutilizar diferentes componentes do produto ou reciclar mono materiais.

- 2º estágio: modelo de negócios - diz respeito a modelos de negócios inovadores com foco para ganhos no desempenho e produtos projetados para reutilização em proposições de valores atraentes, com responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos.

As questões seguintes podem surgir: se o modelo de negócios é adequado para o produto; se o produto pode ser oferecido como um serviço; se há opções de otimização disponíveis para colaboração em setores ou cadeias de produção; como organizar ou garantir a logística reversa; como os fluxos de valor podem ser traduzidos para permitir uma melhor rastreabilidade dos benefícios da “Economia Circular”.

- 3º estágio: redes reversas globais - estão relacionadas ao ciclo do usuário ao fabricante, com o objetivo de ter fabricantes ou terceiros como partes que prestam serviços compartilhados e coletam materiais eficientemente. Assim, pode-se questionar: quais redes serão implantadas; como os fluxos do produto podem ser retornados para a base, via mecanismos reversos que precisam ser formalizados.
- 4º estágio: condições de habilitação - são as condições que permitem a sociedade aplicar os princípios circulares, pois tais princípios exigem mais transparência nos fluxos de materiais, alinhando incentivos e determinados padrões industriais. Condições como financiamento, gerenciamento de riscos, legislação, infraestrutura e educação devem facilitar a transição. Além da mudança mecânica, é necessário desenvolver a consciência do consumidor, bem como as empresas precisam estar dispostas a compartilhar informações de mercado gerais e confidenciais.

Algumas questões relacionadas seriam: se a legislação ou subsídio encorajam a reutilização de materiais existentes; como a diversidade dentro da economia pode ser alavancada para a prova futura do processo de produção; os aspectos legais e econômicos que têm impacto ao fazer o processo primário circular; como a responsabilidade do fabricante pode alavancar o uso mais circular de materiais.

2.1.2 A Economia Circular no Brasil

2.1.2.1 Conceitos de ativo e passivo ambiental

Para uma empresa, a definição de ativo ambiental se refere aos bens adquiridos por ela que visam ao controle, preservação e recuperação do meio ambiente. As características desses ativos são diferentes para cada tipo de organização; eles dependem dos vários processos operacionais das distintas atividades econômicas que devem compreender todos os bens utilizados no processo de proteção e conservação do meio ambiente. Trata-se de um recurso que a empresa controla de ocorrências passadas e dos quais são esperados benefícios futuros econômicos, diretos ou indiretos (Both & Fischer, 2017; Ribeiro et al., 2017).

Os ativos ambientais podem ser identificados como peças / acessórios utilizados no processo de eliminação ou redução dos níveis de poluição, como investimentos em máquinas, equipamentos, instalações obtidos e produzidos com a finalidade de atenuar os impactos no meio ambiente. Da mesma forma, o aumento da capacidade ou aumento da segurança ou eficiência de outros ativos próprios da empresa, redução ou prevenção de provável contaminação ambiental resultante de futuras operações, ou, ainda, conservação do meio ambiente, são ativos ambientais. Os gastos com pesquisas que buscam desenvolver tecnologias modernas, a médio e a longo prazo, de modo a obter benefícios que irão repercutir nos exercícios seguintes, também é considerado como ativo ambiental (Both & Fischer, 2017; Ribeiro et al., 2017).

No caso do passivo ambiental, este representa uma obrigação de uma entidade para com outra, e que em algum momento essa obrigatoriedade deve ser liquidada. Trata-se de uma exigibilidade originada por um fato gerador passado ou presente, que deve ser reconhecida quando existe uma obrigação da empresa que incorreu em um custo ambiental ainda não desembolsado, decorrente de uma dívida efetiva ou de um ato futuro relacionado ao meio ambiente e que exigirá, em um prazo determinado ou determinável, a entrega de ativos ou a prestação de serviços em um momento futuro (Both & Fischer, 2017; Ribeiro et al., 2017).

Levantar o passivo ambiental de um empreendimento significa identificar e caracterizar os efeitos ambientais adversos que, de alguma forma, estão sendo prejudicados de natureza física, biológica e antrópica. Tais prejuízos podem ser proporcionados pela construção, operação, manutenção, ampliação ou desmobilização de um empreendimento ou organização produtiva, ou, ainda, pelo processo de resíduos ou lixos industriais de difícil eliminação, e,

dessa forma, precisam pagar quantias para a indenização de terceiros, multas e recuperação de áreas danificadas (Both & Fischer, 2017).

Em virtude do longo período que as empresas utilizaram os recursos naturais, sem a devida contabilização, fica cada vez mais difícil o reconhecimento por parte das empresas do passivo ambiental, pois reflete negativamente em suas demonstrações econômico-financeiras. Esse reconhecimento pode causar a descontinuidade da operação e até mesmo penalidades de órgãos responsáveis pelo licenciamento e fiscalização. Desse modo decorre o aspecto negativo, como no caso de empresas que, por longo tempo, agrediram o meio ambiente e devem ressarcir com quantias, a título de indenizações ou multas, mas ocorrem as positivas oriundas de atitudes responsáveis, onde empresas conscientes aplicam um sistema de gerenciamento ambiental (Ribeiro et al., 2017).

2.1.2.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos

No Brasil, os primeiros passos rumo à “Economia Circular” se deram com a instituição normativa da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) pela Lei 12.305/2010, que se constitui como um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações para o desenvolvimento da gestão e do gerenciamento de resíduos de forma integrada. Essa integração visa a cooperação entre os governos federal, estaduais e municipais, o setor privado e a sociedade civil (Assunção, 2019).

A PNRS traz algumas definições importantes no âmbito do tratamento e da destinação de resíduos sólidos, conforme a seguir (Lei 12.315, 2010):

- logística reversa: “instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada” (artigo 3º inciso XII da Lei 12.305/2010);
- destinação final ambientalmente adequada: “destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (artigo 3º inciso VII da Lei 12.305/2010);
- disposição final ambientalmente adequada: “distribuição ordenada de rejeitos em aterros,

observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (artigo 3º inciso VIII da Lei 12.305/2010);

- reciclagem: “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa” (artigo 3º inciso XIV da Lei 12.305/2010);
- reutilização: “processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa” (artigo 3º inciso XVIII da Lei 12.305/2010);
- responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: “conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei” (artigo 3º inciso XVII da Lei 12.305/2010).

Entre os princípios que fundamentam a PNRS estão (Lei 12.315, 2010):

- “a visão sistêmica na gestão de resíduos sólidos que considere as variáveis social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública”, conforme artigo 6º inciso III da Lei 12.305;
- “o desenvolvimento sustentável”, conforme artigo 6º inciso IV da Lei 12.305;
- “a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta”, conforme artigo 6º inciso V da Lei 12.305;
- “a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos”, conforme artigo 6º inciso VII da Lei 12.305;
- “o reconhecimento do resíduo como reutilizável ou reciclável e, ainda, a responsabilidade compartilhada”, conforme artigo 6º inciso VIII da Lei 12.305.

Em termos da ecoeficiência, trata-se de um modelo de gestão ambiental que foi introduzido em 1992 pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), que consiste na gestão eficiente dos recursos, agregando valor sem que isso tenha reflexo no aumento dos preços dos produtos ou serviços. Os fatores identificados para alcançar com êxito a ecoeficiência são: (1) redução da intensidade de uso de materiais; (2) diminuição da demanda intensa de energia; (3) redução da dispersão de substâncias tóxicas; (4) incentivo à reciclagem de materiais; (5) maximização do uso sustentável dos recursos renováveis; (6) prolongamento da vida útil dos produtos; e (7) incremento da intensidade dos serviços (Assunção, 2019).

A PNRS define como objetivos, entre outros (Lei 12.315, 2010):

- “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (artigo 7º inciso II da Lei 12.305/2010);
- “adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais” (artigo 7º inciso IV da Lei 12.305/2010);
- “incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados” (artigo 7º inciso VI da Lei 12.305/2010);
- “gestão integrada de resíduos sólidos” (artigo 7º inciso VII da Lei 12.305/2010).

Com relação aos princípios e objetivos da PNRS, observa-se que eles buscam, de maneira ampla, integrar os esforços, com foco no desenvolvimento de ações para o atendimento das necessidades da população, pautadas no desenvolvimento sustentável, por meio do uso racional dos recursos e o respeito às diversidades locais e regionais através de uma visão sistêmica (Assunção, 2019).

Foram estabelecidos como instrumentos da PNRS (Lei 12.315, 2010), entre outros:

- “a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos” (artigo 8º inciso III);
- “o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis” (artigo 8º inciso IV);
- “a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos” (artigo 8º inciso VI).

No artigo 9 da PNRS foi estabelecido que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: “não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (Lei 12.315, 2010).

Nos artigos 16 e 18 da PNRS, estão previstas a elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) e do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) como condição fundamental para estados, Distrito Federal e municípios terem acesso aos recursos da União destinados a empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos sólidos, bem como para que recebam benefícios por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade (Silva et al., 2017).

No artigo 19, são apresentados os requisitos mínimos para a constituição dos planos municipais e as condições mínimas para que os municípios possam ter acesso aos recursos da União, de forma que possam estabelecer suas metas e estratégias para o gerenciamento de resíduos sólidos (Silva et al., 2017).

No artigo 30, estabelece-se a instituição da “responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos” (Lei 12.315, 2010).

No artigo 32, estabelece-se que as “embalagens devem ser fabricadas com materiais que propiciem a reutilização ou a reciclagem” (Lei 12.315, 2010).

No Artigo 33, ficam “obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de” (Lei 12.315, 2010):

- agrotóxicos, seus resíduos e embalagens;
- pilhas e baterias;
- pneus;
- óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
- produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

A PNRS trata, além da redução na geração de resíduos, de uma proposta de práticas de hábitos de consumo sustentável e de um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da

reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (Assunção, 2019).

Na prática, os desafios para a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil são grandes. Os instrumentos para a implementação da PNRS, definidos como Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, Sistema Nacional de Informações sobre Resíduos, a Coleta Seletiva, a Logística Reversa, bem como os Incentivos Fiscais, Financeiros e Creditício, ainda que previstos na lei, não estão adequadamente implementados (Freitas et al, 2017).

Apesar de entrar na agenda política, ainda perduram controvérsias entre diferentes segmentos representativos da sociedade por interesses conflitantes. Uma das questões centrais discutidas foi o modelo de responsabilidade pós-consumo a ser implementado, que consiste na definição das atribuições de fabricantes, importadores, distribuidores, consumidores e titulares dos serviços públicos de manejo dos resíduos produzidos. A PNRS também criou metas para a eliminação dos lixões, por meio da constituição de instrumentos de planejamento nas esferas nacional, estadual, microrregional, intermunicipal, metropolitana e municipal, além de impor ao setor privado a elaboração de Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (Silva et al, 2017).

Muitos municípios brasileiros não estão cumprindo o proposto na PNRS e nem os prazos estipulados, assim a grande maioria dos municípios não conseguiu alcançar soluções para a gestão de resíduos sólidos e nem transformar os problemas com o lixo em oportunidades para a população brasileira, alegando, em grande parte, ausência de recursos, principalmente os financeiros (Silva et al, 2017).

Ao longo dos últimos anos, o fato de não se ter a aprovação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, após as audiências públicas em todas as regiões do país, demonstra falhas na vontade política e fragiliza tanto a implementação quanto o monitoramento da PNRS pela sociedade. A implementação está lenta e muito aquém das metas por ela estabelecidas, de forma que persistem os lixões e aterros controlados enquanto formas de destinação final dos resíduos em milhares de municípios, principalmente nos pequenos. Os aterros sanitários, como solução de destinação final adequada, só se tornarão viáveis economicamente para municípios pequenos, quando os consórcios públicos se viabilizarem (Freitas et al, 2017).

As alternativas de gestão de resíduos previstas na PNRS, como a separação em resíduos secos, resíduos úmidos e rejeitos, ainda são pouco implementadas, o que poderia aumentar a coleta seletiva e diminuir os custos. Os resíduos secos podem ser encaminhados para a reciclagem com a instalação de recicladoras, os resíduos úmidos para a compostagem gerando adubo, ou para a biodigestão gerando energia, e os rejeitos, se existentes, para disposição em aterros sanitários consorciados (Freitas et al, 2017).

A sustentabilidade financeira dos sistemas de gestão de resíduos sólidos ainda é uma realidade distante. Os serviços prestados aos municípios, em sua maioria, não são cobrados, com o agravante de que, mesmo quando cobram, o valor cobre baixos percentuais dos custos. Ainda se está distante da universalização da coleta seletiva, da eficiência dos sistemas e dos consequentes índices de recuperação de recicláveis, além das imensas desigualdades regionais (Freitas et al, 2017).

Como resultado positivo na implementação da PNRS, pode-se destacar a existência de organizações de catadores de materiais recicláveis operando a coleta seletiva municipal com resultados expressivos, principalmente nas cidades de menor porte, em que os catadores aparecem como agentes executores que mais coletam seletivamente. Ainda há que se compreender o porquê do baixíssimo índice de recuperação de recicláveis nas grandes cidades e como aproveitar essa expertise nos grandes centros (Freitas et al, 2017).

Nos termos de uma política pública, a sanção da PNRS criou um marco regulatório, entretanto, a sua efetivação, ainda carece de alguns instrumentos propostos para sua concretude. A gestão da cadeia de resíduos sólidos é de considerável complexidade, uma vez que as políticas públicas dependem da cooperação de todos, com ações de conscientização efetiva, prevenção e monitoramento, que devem ser estimulados, principalmente por meio do Estado para atingir toda a sociedade (Cezarino, et al., 2019; Silva et al, 2017).

Conforme apontam os resultados do estudo desenvolvido por Cezarino et al. (2019), o Brasil possui um ambiente razoável, além de fortes políticas regulatórias para resíduos sólidos que podem estimular a “Economia Circular” no país, porém requer mais comunicação entre os atores envolvidos, especialmente instituições públicas e privadas para relações de longo prazo.

2.1.2.3 Transição para a Economia Circular

Hoje, o que se pratica é a Economia Linear que consiste em extrair da natureza as matérias-primas, fabricar bens, distribuir, vender, comercializar esses bens para a sociedade e, quando terminar a sua vida útil, descartar (AMB, 2020). Nesse sistema, mesmo considerando os avanços na eficiência de recursos, ocorrem perdas ao longo da cadeia de valor, além disso, a rápida aceleração das economias de consumo e extrativas resulta em um crescimento das externalidades negativas (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

O modelo linear da economia, em função do próprio contexto no qual opera, está enfrentando desafios cada vez maiores, indicando que é necessária uma mudança mais profunda do modelo operacional da economia. O relatório “Rumo à Economia Circular: o racional de

negócio para acelerar a transição” da *Ellen MacArthur Foundation* (2015) aponta como fatores que desafiam a economia linear: perdas econômicas e desperdício estrutural, riscos de preços (volatilidade), riscos de ofertas, degradação dos sistemas naturais, tendências regulatórias (externalidades negativas), avanços tecnológicos, aceitação de modelos de negócio alternativos (produtos como serviços) e urbanização.

No modelo linear, a utilização dos recursos naturais não considera a sua finitude, os processos produtivos são utilizados na transformação da matéria-prima em produtos que são descartados, em sua maioria, sem considerar o devido aproveitamento. Além disso, ocorre o aumento da geração de resíduos, com seus consequentes impactos ambientais e à saúde humana. De maneira oposta, o modelo circular está fundamentado em processos cíclicos, nos quais os resíduos são reinseridos no processo produtivo, seja como fonte de energia ou como subprodutos. A Figura 3 apresenta um comparativo entre os modelos de economia linear e Circular para a transição das economias, apresentando um primeiro passo intermediário entre as economias que pode ser a reciclagem (Assunção, 2019).



Figura 3 - Modelo esquemático de transição da economia Linear para a “Economia Circular”.

Fonte: Assunção, 2019.

Para a economia linear, tem-se que quanto mais produtos vendidos, maior será a receita obtida. Neste modelo, há um incentivo à produção de produtos de menor vida útil e, conseqüentemente, um desperdício de recursos materiais. Por outro lado, na “Economia Circular” os produtos são feitos para durar mais tempo (produção, design e utilização otimizados) e no pós-uso, pretende-se a recuperação de maior valor possível.

A “Economia Circular” traz, entre outras vantagens, a redução de custos de produção, ganhos ambientais e o cumprimento de exigências estabelecidas pelos países que importam produtos. Para aquele que exporta, uma das exigências será demonstrar que a sua empresa tem práticas de “Economia Circular” (AMB, 2020).

O modelo Circular tem como objetivo fazer uma gestão mais eficiente dos recursos, ao longo do ciclo de vida do produto, minimizando ou eliminando os desperdícios e a geração de resíduos, e prolongando a vida útil do produto (Azevedo, 2015).

Para a “Economia Circular”, desde o design do que se pretende fabricar, tem que haver uma discussão sobre como será aquele bem, a fim de permitir no final da vida útil, o seu retorno à fabricação de um novo bem. Dessa forma, não há descarte. Isso é o que já praticam as indústrias europeias e algumas indústrias brasileiras. (AMB, 2020).

Nesse contexto de transição, vê-se a necessidade de acelerar a escala das cadeias de suprimentos globais, porém sem a necessidade de se aumentar a extração de recursos (finitos), mas através do seu reuso, como forma de possibilitar novos negócios e gerar novos valores. Isso conduz a geração de novos modelos de negócios, incorporação de novos atores na cadeia, e novos conceitos que são a base da “Economia Circular” (AMB, 2020).

A “Economia Circular” não se pratica sozinho e nem é questão de marketing, ela precisa ser praticada verdadeiramente, e quanto maior o número de partes envolvidas, maior será a chance de avançar com ganhos para a sociedade e para a indústria. No longo prazo, esse avanço envolverá questões sociais, ambientais, culturais, de políticas públicas, dentre outras, num ambiente colaborativo, visando o benefício para todas as partes envolvidas. (AMB, 2020).

A transição para uma “Economia Circular” traz oportunidades em todos os setores, conforme o relatório “Rumo à Economia Circular: o racional de negócio para acelerar a transição” da Ellen MacArthur Foundation (2015), a saber: i) oportunidades econômicas: maior crescimento econômico, redução substancial de custo líquido, geração de emprego e mais inovação; ii) oportunidades ambientais e sistêmicas: diminuição das emissões e do consumo de materiais primários, preservação e aumento da produtividade da terra e redução das externalidades negativas; iii) oportunidades para as empresas: conjuntos de novos e maiores lucros, maior segurança da oferta e nova demanda por serviços empresariais, com o consequente aumento da resiliência; iv) oportunidades para os cidadãos: mais utilidade em consequência da ampliação do leque de opções, preços mais baixos e custo total de propriedade mais baixo.

Em estudo conduzido pela Ellen MacArthur Foundation (2017), intitulado “Uma Economia Circular no Brasil: uma abordagem exploratória inicial”, as conclusões preliminares mostraram que a transição para a “Economia Circular” no Brasil poderia gerar oportunidades de mais inovação e criação de valor. Com características mercadológicas e sociais únicas, e capital natural incomparável, que o Brasil possui, ele se mostra como um cenário atraente para

a exploração de oportunidades que a “Economia Circular” poderia trazer para a construção do capital econômico, social e natural.

É importante ressaltar que pesquisas macroeconômicas já realizadas em outros países indicaram que a adoção da “Economia Circular” beneficia o PIB e o nível de emprego em geral. Tais oportunidades, assim como desafios, são comuns a todas as economias, como, por exemplo, a importância da alavancagem da tecnologia digital para o aproveitamento de oportunidades da “Economia Circular” (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

2.2 A Quarta Revolução Industrial

2.2.1 Contexto histórico das revoluções industriais

Para se falar da Quarta Revolução Industrial, é interessante um retrospecto do que foi cada uma das revoluções industriais (Ideia Circular A, 2021; Teixeira et al., 2020):

- Primeira Revolução Industrial - Indústria 1.0 (1760 – 1840) - marcada pela mecanização da produção com a introdução da máquina a vapor nos processos de produção, ganho de produtividade, formação de indústrias em grande escala.
- Segunda Revolução Industrial - Indústria 2.0 (1850-1945) – o uso da energia elétrica nas linhas de montagem transformou totalmente a indústria e a vida das pessoas, energia para iluminação e para os motores e máquinas industriais, mudanças nos processos produtivos com o início da produção em série (produção em massa) e na organização da sociedade.
- Terceira Revolução Industrial - Indústria 3.0 (1950 – 2010) – o grande diferencial foi a automação dos processos industriais, através da introdução da eletrônica, tecnologia da informação e de computadores, trazendo novos conceitos como a produção enxuta.
- Quarta Revolução Industrial - Indústria 4.0 (2011 - atual) – o foco é na digitalização através de várias tecnologias e incrementos mecânicos, elétricos e eletrônicos para melhorar a inteligência, trazendo maior autonomia frente aos novos desafios da indústria. Convergência de várias tecnologias, fusão entre o mundo físico e o virtual através da internet.

A importância das revoluções industriais para a aplicação e o desenvolvimento de soluções tecnológicas, frente aos paradigmas industriais vivenciados, pode ser percebida ao longo de mais de 250 anos de história. Na Figura 4, tem-se uma representação esquemática temporal das revoluções industriais e o seu grau crescente de complexidade de demandas, tecnologias e processos produtivos (Teixeira et al., 2020).

Em referência à Quarta Revolução Industrial, o termo “Indústria 4.0” surgiu na Alemanha como estratégia de desenvolvimento tecnológico industrial, sendo utilizado pelos norte-americanos como “Manufatura Avançada” e pelos franceses como “Indústria do Futuro” (Sputnik Brasil, 2021).

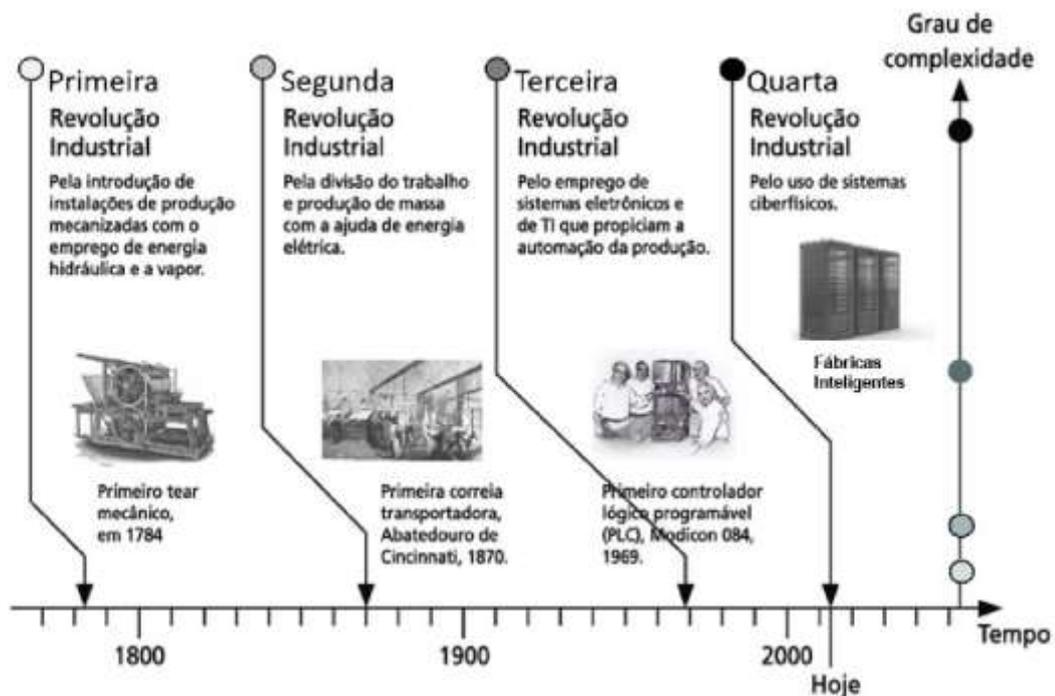


Figura 4 - Representação temporal das revoluções industriais versus o grau de complexidade de demandas, tecnologias e processos.

Fonte: Adaptada de Calabrò (2019).

2.2.1.2 Requisitos para a Indústria 4.0 e seus pilares tecnológicos

Com a Quarta Revolução Industrial, a modernização tecnológica e a otimização do negócio no nível corporativo transformaram a indústria tradicional em uma “Fábrica Inteligente”. Os requisitos para a sua implementação, e que norteiam a sua forma de atuação, são listados a seguir (Teixeira & Teixeira, 2021; Indústria 4.0, 2016):

1. administração em tempo real: consiste em acompanhar a produção em tempo real através de dados constantemente atualizados, o que favorece a tomada de decisão mais rápida e assertiva, para atuar no processo com os ajustes necessários;
2. interoperabilidade: trata da comunicação constante entre o homem (responsável pela produção) e a máquina / dispositivo / sensor (utilizados no processo), a fim de avaliar o processo e adequá-lo aos padrões estabelecidos;
3. descentralização: relaciona-se com o controle dos processos produtivos e decisórios. Os sistemas digitais são, por natureza, mais autônomos tanto na realização de atividades quanto na tomada de decisões. Além desse aspecto, há também a disponibilização de informações sobre o ciclo de trabalho das máquinas, custos, capacidade utilizada, ociosidade, entre outros;
4. orientação a serviço: diz respeito à arquitetura de software voltada a serviço. Isso significa ter as funcionalidades implementadas pelas aplicações, na forma de serviços, o que facilita a integração de tecnologias, ferramentas e serviços;
5. modularidade: está relacionada com o sistema de produção em módulos, o que permite realizar as etapas de produção conforme demanda, trazendo flexibilidade para alterar as tarefas das máquinas;
6. virtualização: com a instalação de sensores em todos os processos de produção, permite o monitoramento e rastreamento dos processos, a fim de trazer mais eficiência e evitar falhas, além disso permite a simulação computacional com dados em tempo real.

Além desses requisitos, os pilares tecnológicos que suportam as “Fábricas Inteligentes” são: Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, Manufatura Aditiva, Simulações, Robôs Autônomos, Big Data, Impressão 3D, entre outros (Albertin et al., 2017; Inoue et al., 2019, Teixeira & Teixeira, 2021). Esses pilares e outras tecnologias associadas são apresentados na Tabela 2, de forma explicativa, e na Figura 5, de forma esquemática.

Tabela 2- Principais tecnologias empregadas nas “Fábricas Inteligentes”.

TECNOL. / FERRAMENTA	DESCRIÇÃO / ATUAÇÃO / BENEFÍCIO
Informação	
<i>Advanced analytics</i>	consiste na análise estatística de dados em busca de padrões para a predição analítica e tomada de decisão eficaz
Cibersegurança (<i>cybersecurity</i>)	proteção de sistemas industriais, linhas de produção críticas, dispositivos, redes e dados contra ameaças de cibersegurança, roubo ou danos ao software, hardware ou dados, assim como interrupção ou desorientação dos serviços fornecidos. Assim, protocolos padronizados de comunicação e alta conectividade, entre todos os links da cadeia de valor, são essenciais
Computação em nuvem (<i>cloud computing</i>)	infraestrutura de armazenamento de dados, com alta capacidade, para compartilhamento e acesso via internet, por dispositivos, sem a necessidade de instalação no computador
Identificação de rádio frequência RFID (<i>radio frequency identification</i>)	método para identificação, rastreamento e recuperação de dados remotamente, através de dispositivos denominados etiquetas RFID
Infraestrutura digital	meios físicos que garantem a comunicação entre máquinas, unidades distintas ou diferentes empresas
Inteligência artificial	sistemas alimentados por dados que desenvolvem a capacidade de tomada de decisão autônoma
Processamento de dados (<i>big data</i>)	centrais de captura, armazenamento e tratamento de grandes bases de dados para a tomada de decisão, com a diferença de que, neste banco as informações são dinâmicas e as análises podem variar em tempo real. Para a obtenção de processos eficientes e operação de alta qualidade, a informação de dados precisa ser coletada e deve ser dado um <i>feedback</i> a todos os aspectos da produção, onde aparecem os CPS e a IoT
Sistemas físico- cibernéticos CPS (<i>cyber physical Systems</i>)	resultado da fusão dos mundos físico e virtual, ou seja, a integração da computação com os processos físicos, quando computadores e redes incorporam, monitoram, e controlam os processos físicos e os realimentam com informações e dados

(Continua)

(Continuação)

TECNOL. / FERRAMENTA	DESCRIÇÃO / ATUAÇÃO / BENEFÍCIO
Conectividade	
Comunicação sem fio	sistemas constituídos por equipamentos, dispositivos, componentes e softwares que viabilizam a comunicação de voz e de dados, sem fio e em tempo real
Integração horizontal	integra digitalmente toda a cadeia de suprimentos, envolvendo fornecedores, fabricantes e clientes, utiliza-se dos sistemas ciberfísicos para conectar plantas, etapas ou processos, em diferentes localidades
Integração vertical	trata da conexão de máquinas e processos, desde a matéria-prima ao consumidor final, através de sistemas digitais, de forma a monitorar produção <i>online</i> e em tempo real. A integração se dá nos vários sistemas de TI, nos diferentes níveis hierárquicos de um sistema de produção como nível de atuadores e de sensores, nível de controle, nível de gerenciamento da produção, nível de fabricação e execução e nível de planejamento de recursos corporativos
Internet das coisas IoT (<i>internet of things</i>)	conexão em rede de máquinas, bens de consumo, veículos e ambientes, com dispositivos e sensores eletrônicos, tais como RFID, código de barras, <i>QR code</i> , <i>Bluetooth</i> , entre outros, para coleta e troca de dados, possibilitando a automação e a centralização do controle e da produção
Máquinas inteligentes	sistemas que atuam produção, com capacidade de operação em tempo real, com adequação automática ao processo
Operações por controle remoto	operações, máquinas e equipamentos, controlados remotamente, melhorando a visualização dos processos e as tomadas de decisão
Sensores e atuadores	sensores são dispositivos que respondem a estímulos e registram informações e atuadores comandam estímulos para gerar ações

(Continua)

(Continuação)

TECNOL. / FERRAMENTA	DESCRIÇÃO / ATUAÇÃO / BENEFÍCIO
Produção	
<i>Blockchain</i>	tecnologia baseada em um protocolo P2P (comunicação de ponto a ponto), capaz de conectar sistemas, pessoas e processos, sem intermediação e de forma segura. A rastreabilidade é uma das principais vantagens, sendo fundamental nos processos de fabricação para monitorar dados de produção no controle de qualidade, na logística para localizar o produto e otimizar a entrega, no pós-venda para auxiliar a credibilidade da marca, uma vez que é possível acessar o histórico do produto
Fábrica inteligente (<i>smart factory</i>)	emprego dos sistemas ciberfísicos na fusão entre os processos técnicos e administrativos, graças à conectividade
Manufatura aditiva	processo aditivo de construção de objetos, camada sobre camada, pela deposição de pó, muito fino, ou de material líquido, que é fundido ou solidificado, a partir das medidas físicas em formato digital. Esse processo permite entregar uma variedade de produtos, com diferentes customizações, em diversos lugares, utilizando novas tecnologias como a impressão em 3D
Manutenção preditiva	consiste no monitoramento regular de condições mecânicas, eletrônicas, pneumáticas, hidráulicas e elétricas dos equipamentos, com base em dados sobre seu desgaste ou degradação, com vistas a diminuir os reparos por quebras (manutenção corretiva), reparos programados (manutenção preventiva), bem como aumentar o rendimento no processo (maior tempo maior em operação)
Materiais avançados	materiais como metais leves e de alta resistência, ligas de alta performance, cerâmicas avançadas e compósitos, materiais críticos, polímeros <i>bio-based</i> , materiais nanoestruturados, entre outros

(Continua)

(Continuação)

TECNOL. / FERRAMENTA	DESCRIÇÃO / ATUAÇÃO / BENEFÍCIO
Produção	
Operações modulares	sistemas para produção com atuação em módulos
Produto inteligente (<i>smart product</i>)	pode ser um objeto, <i>software</i> ou serviço, projetado para se auto-organizar e incorporar diferentes ambientes (inteligentes), proporcionando maior simplicidade e maior interação, sendo proativo, com interfaces naturais
Realidade aumentada (<i>augmented reality</i>)	tecnologia que adiciona visão de computador e reconhecimento de objetos, para tornar a informação interativa e manipulável pelo usuário, aprimorando a percepção humana por meio de objetos virtuais
Realidade virtual (<i>virtual reality</i>)	tecnologia de interface, capaz de induzir efeitos visuais, sonoros e até táteis, criados a partir de um sistema computacional, por meio de um ambiente virtual que permite a imersão completa em um ambiente simulado, com ou sem interação do usuário
Robótica avançada	máquinas ou sistemas com elevada mobilidade, destreza, capacidade de adaptação, aprendizagem e interação, capazes de aceitar comandos de alto nível para tarefas programadas. Os robôs autônomos são máquinas inteligentes capazes de executar tarefas sem controle humano explícito
Simulação	metodologia para resolução de problemas, essencial para garantir a qualidade e eficiência no desenvolvimento de produtos, pois permite o uso de dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual. A prototipagem virtual, técnicas modulares de simulação e modelagem permitem que unidades descentralizadas alterem os produtos e possibilitem a sua rápida inovação
Sistemas integrados de gestão	conjunto de softwares de gestão que integram as atividades da corporação ou que aumentam a eficiência da gestão produtiva / comercial / financeira

Fonte: Adaptada de Teixeira & Teixeira, 2021.

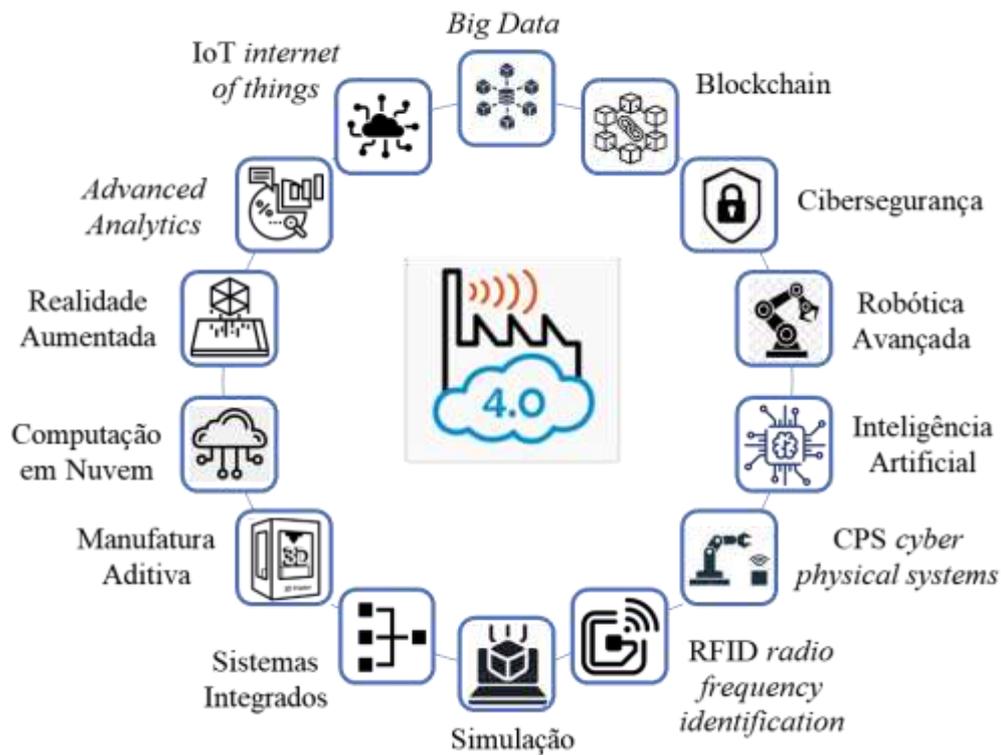


Figura 5 - Representação esquemática das principais tecnologias da “Indústria 4.0” empregadas nas “Fábricas Inteligentes”.

Fonte: Elaborada pela autora.

No Brasil, o desenvolvimento da “Indústria 4.0” ainda é bastante tímido, há empresas brasileiras se modernizando em direção a essas tecnologias. Porém, ainda não refletem a média das empresas do país, que utilizam pouca automação e pouca informática, dado que ainda não incorporaram as tecnologias da Terceira Revolução Industrial (Sputnik Brasil, 2021).

Enquanto isso, nos países desenvolvidos o debate sobre as novas tecnologias começou logo após a crise global de 2008, ou seja, há mais de dez anos começaram a desenhar políticas para esse fim. Países como EUA, China, Alemanha, Coreia do Sul, Japão, França e Reino Unido estão entre os mais avançados no desenvolvimento de máquinas e equipamentos para viabilizar a nova revolução industrial (Sputnik Brasil, 2021).

A consolidação da “Indústria 4.0” como um ecossistema inovador tem gerado grandes expectativas sobre seus efeitos econômicos e ambientais, levando ao desenvolvimento de vários estudos de pesquisa (Diaz-Chao et al., 2021). Em estudo conduzido por Bag et al. (2021) foram avaliados os desafios envolvidos na adoção da “Indústria 4.0”, objetivando desenvolver um modelo teórico que mostrasse os recursos-chave para conduzir o progresso tecnológico, e seu efeito na produção sustentável e na capacidade de “Economia Circular”. Os resultados da

pesquisa indicaram como recursos essenciais: os sistemas de produção, os recursos humanos, o gerenciamento de projetos, a liderança de gerenciamento, a logística verde, o *design* verde, a tecnologia da informação, a análise de big data e os relacionamentos colaborativos, além disso, concluiu-se também que a “Indústria 4.0” tem uma relação positiva com a produção sustentável e, finalmente, a produção sustentável tem uma relação positiva com as capacidades (aptidões) da “Economia Circular”.

O que se nota é que as tecnologias da “Indústria 4.0” mostram-se convergentes com a agenda de sustentabilidade, com potencial de reorganizar a cadeia produtiva. A “Indústria 4.0” e a sustentabilidade são eixos industriais do futuro que se comunicam e se inter-relacionam. As tecnologias 4.0 permitirão uma trajetória mais sustentável do desenvolvimento industrial (Sputnik Brasil, 2021).

Em termos de políticas públicas, a regulação é um aspecto bem importante. Tanto no campo das tecnologias da “Indústria 4.0” (Ottonicar et al., 2019) quanto no campo da “Economia Circular”. As tecnologias precisam de pessoas e instituições capazes de dominá-las e aplicá-las nos processos das indústrias e no dia a dia para uma melhor qualidade de vida.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia de pesquisa empregada classifica-se, quanto aos objetivos, como uma pesquisa exploratória, buscando na revisão bibliográfica sistematizada a fundamentação do tema de estudo e uma possível construção de hipóteses. O protocolo utilizado inspirou-se no trazido por Davies & Crombie (1998). Os autores sugeriram que o protocolo deveria conter informações sobre as questões específicas abordadas pelo estudo, a estratégia de busca para identificação de estudos relevantes e critérios para inclusão e exclusão de estudos na revisão.

A estratégia de pesquisa da revisão sistemática da literatura, consistiu, assim, na busca no Portal de Periódicos da CAPES (Portal CAPES) por meio da rede da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe), na “busca Assunto”, que inclui todas as “bases de pesquisa” disponibilizadas pela CAPES. Foram utilizadas as palavras-chave “Economia Circular” e “Indústria 4.0”, num contexto global ou especificamente para o Brasil. A pesquisa foi realizada em trabalhos em língua portuguesa, espanhola e inglesa publicados nos últimos 5 anos (no período do ano de 2015 ao ano de 2021), conforme Tabela 3. A partir desses trabalhos, foram selecionados os artigos originais. Foram critérios de inclusão a presença de resumos (em português, espanhol e inglês), a disponibilização online do artigo completo, assim como a descrição de abordagem quantitativa referente à análise de associação entre “Economia Circular” e “Indústria 4.0”, incluso fatores socioambientais. Foram excluídos os artigos não revisados por pares, os estudos de abordagem qualitativa e os de cunho quantitativo que apresentaram em seu resumo apenas a descrição de medidas de frequência. Foram ainda excluídos os capítulos de livro, resenhas, relatos de caso e editoriais.

Tabela 3 – Estratégia de pesquisa da revisão sistemática da literatura.

Requisitos de busca	
Base de dados	todas as “bases de Pesquisa” disponibilizadas pela CAPES
Tipo de busca	artigos publicados
Palavras-chave	economia circular e indústria 4.0
Idiomas	português, inglês e espanhol
Período	2015 a 2021

Fonte: Elaborada pela autora.

A pesquisa realizada apresenta-se, quanto à natureza, como uma investigação científica, pois objetiva avaliar a prática do conteúdo abordado. A abordagem da pesquisa apresenta-se,

essencialmente, qualitativa, objetivando o aprofundamento da compreensão crítica da qualidade das evidências da correlação entre “Indústria 4.0” e “Economia Circular”, para a implantação da sustentabilidade da administração dos meios produtivos industriais e serviços associados a esses meios.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise dos resultados da revisão da literatura

Com base nos procedimentos metodológicos propostos, apresentados no item 3 (critérios de busca, critérios de inclusão e de exclusão), os resultados da busca de artigos da literatura são apresentados na Figura 6. Na etapa 1 obteve-se, com os critérios de busca, o total de 360 artigos (357 em inglês e 3 em português/espanhol). Contudo, ao se aplicar os critérios de inclusão e exclusão nas etapas 2 e 3, obteve-se o total de artigos de 41 (39 em inglês e 2 em português/espanhol). Portanto foram selecionados 41 artigos que responderam aos critérios de seleção dos 360 artigos apresentados pelo CAFE. Pôde-se perceber à princípio, através do número de artigos selecionados, que o tema de pesquisa é bem recente e pouco desenvolvido, tornando a temática desta pesquisa relevante.

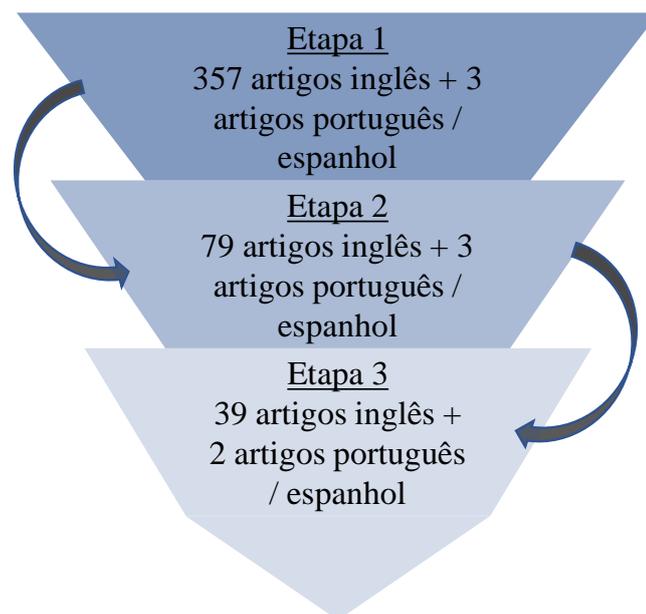


Figura 6 - Esquema detalhado das etapas da revisão sistemática de pesquisa.

Fonte: Elaborada pela autora.

Ainda, com relação aos artigos selecionados para o desenvolvimento deste trabalho, a Figura 7 apresenta graficamente o Número de Publicações por Ano de Publicação que atenderam aos critérios de seleção. Nota-se um expressivo aumento do número de publicações nos últimos 3 anos (2019-2021), sendo que, para o ano de 2021 foram levantadas somente as publicações relativas ao primeiro semestre do ano corrente. Desta forma, o número de

publicações em 2021 (que poderia ser selecionado) deverá ser consideravelmente maior que o do ano anterior, o que reflete o interesse pelo tema através do desenvolvimento de estudos científicos. Os detalhes dos resultados da seleção de artigos encontram-se no Apêndice A.

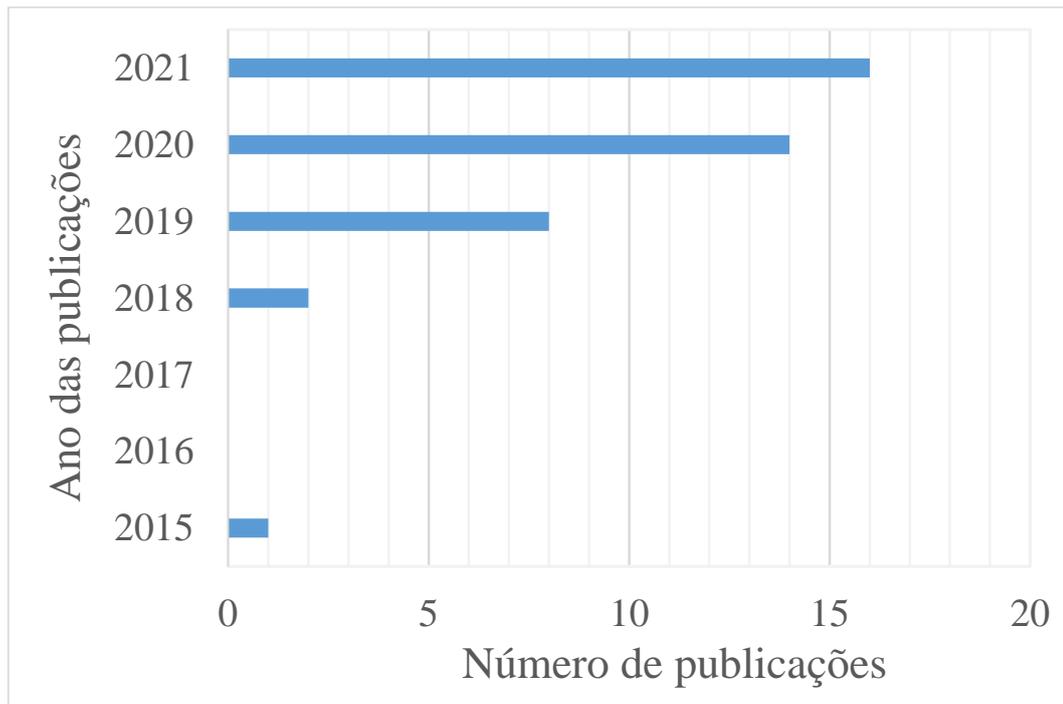


Figura 7 - Apresentação gráfica da seleção de artigos em Ano das Publicações por Número de Publicações.

Fonte: Elaborada pela autora.

4.2 Uso da Tecnologia Rumo à Transição

A Quarta Revolução Industrial trouxe a convergência de várias tecnologias para a consolidação de indústrias mais eficazes e eficientes, assim as tornando “Fábricas Inteligentes”. A “Indústria 4.0” e a “Economia Circular” tem conceitos, origens e fundamentos diferentes, contudo a “Indústria 4.0” pode ser considerada como viabilizadora para a “Economia Circular” e vice-versa. É interessante notar que a digitalização promovida pela “Indústria 4.0” é objetivada pelas indústrias, enquanto a “Economia Circular” ainda é considerada uma quebra de paradigma para muitos.

A “Economia Circular”, dentro de uma nova mentalidade empresarial, pode levar organizações e sociedades ao desenvolvimento sustentável. No estudo de Kahn et al (2021) é evidenciado que, grande parte da literatura consultada aplicou os conhecidos princípios 3Rs da

sustentabilidade (*reduce, reuse, recycle*) e os 6Rs (*reduce, reuse, recycle, recovery, remanufacture e redesign*) em abordagens relacionadas à “Indústria 4.0”, enquanto uma pequena parte adotou o modelo ReSOLVE (*regenerate, share, optimize, loop, virtualize, exchange*) desenvolvido pela *Ellen MacArthur Foundation*, que mostra como as seis dimensões da “Economia Circular” são conceituadas em ações de negócios e como podem afetá-las. Essa constatação permite a percepção de que a manufatura está mudando junto com a atual revolução industrial, assim como a criação de valor sustentável para as empresas (Khan et al., 2021; Mastos et al. 2021).

As tecnologias da “Indústria 4.0” também podem fornecer soluções digitais para a automação da manufatura. Tal contexto foi avaliado no estudo de Bag et al. (2021), empregando-se modelos baseados na “Economia Circular” em que os recursos permanecem no sistema, enquanto experimentam um dos princípios 10Rs (*refuse, rethink, reduce, reuse, repair, refurbish, remanufacture, repurpose, recycle, recover*). Esses processos (10Rs) requerem o desenvolvimento de recursos de fabricação avançados e representam vários desafios que podem ser superados com eficácia por meio de aplicativos tecnológicos da “Indústria 4.0”. Embora a literatura indique o uso de várias tecnologias da “Indústria 4.0”, poucas informações estão disponíveis sobre as opiniões das empresas sobre o grau de aplicação da “Indústria 4.0” na área de manufatura avançada, baseada nos 10Rs e sua capacidade de alcançar o desenvolvimento sustentável.

Em outros estudos realizados por Mastos et al. (2021) e por Rizvi et al. (2021) foram mostradas evidências de como as tecnologias da “Indústria 4.0” tendem a redesenhar as cadeias de abastecimento tradicionais tornando-as cadeias de abastecimento circulares. No estudo de Mastos et al. (2021) foi empregado o modelo ReSOLVE (*regenerate, share, optimize, loop, virtualize, exchange*).

No modelo ReSOLVE o termo *regenerate*, de regenerar, se relaciona com a transição para energias e materiais renováveis, e para a preservação e melhoria dos ecossistemas naturais. Em seguida, *share*, de compartilhar, se refere à “economia de compartilhamento”, com a extensão do ciclo de vida do produto e a redução do desperdício. *Optimize*, de otimizar, busca a minimização de atividades sem valor agregado para a empresa e a cadeia de suprimentos, através do uso de tecnologias e ferramentas avançadas, para melhoria de eficiência de recursos e desempenho de produtos e serviços. O *loop*, de circularidade, está relacionado às atividades de ciclo fechado, em que produtos seguem um caminho circular ao invés de um linear. *Virtualize*, de virtualizar, se refere à entrega de utilidades virtuais e à visualização de materiais e processos de forma que a disponibilidade e troca de informações, que substituem ou

postergam o consumo físico real de bens, também estejam incluídos nessa dimensão. O último termo, *exchange*, de intercâmbio, envolve a substituição de materiais antigos por produtos e serviços avançados, não renováveis, e a implantação de novas tecnologias (Mastos et al., 2021).

Porém, a questão ainda a ser respondida é como, e em que medida, a “Indústria 4.0” é capaz de contribuir para o desenvolvimento sustentável. No estudo de Birkel & Muller (2021) é apontado que, muitos artigos investigam a “Indústria 4.0” sob o ponto de vista de tecnologias, porém estudos contendo avaliações holísticas dos efeitos das tecnologias nas dimensões econômica, ambiental e social, permanecem escassos. A implementação da “Indústria 4.0” nas empresas requer grandes transformações, o que pode gerar vários conflitos, carecendo de mais estudos sobre essas questões e sobre como as tecnologias podem operar de forma facilitadora.

As tecnologias da “Indústria 4.0” são de grande utilidade para a “Economia Circular” (Kahn et al., 2021; Mastos et al., 2021; Shayganmehr et al. 2021), podendo-se citar, como exemplo, a IoT que facilita a rastreabilidade, a produção e a logística. Assim, o rastreamento de um material, ao longo de sua vida, significa o rastreamento de sua produção, de sua utilização até sua destinação final, para então dar início a um novo ciclo de vida (Ideia Circular A, 2021).

A IoT vem sendo empregada em diversas áreas, como por exemplo na agricultura, energia, manufatura, transporte, logística, saúde, aviação, entre outras, através de dispositivos inteligentes operando como parte de sistemas ou em sistemas que compõem a cadeia de valor das empresas (Inoue et al., 2019).

Entretanto, o uso de novas tecnologias pode apresentar, além de oportunidades, barreiras que precisam ser consideradas para que possam ser superadas. Tal é o caso da adoção da IoT na “Economia Circular”, em ambiente industrial em que, segundo Cui et al. (2021) foram identificadas em sua pesquisa 22 barreiras principais a esse respeito, sendo elas: padronização da infraestrutura, virtualização do sistema de automação, qualidade dos dados, adaptabilidade, preferências do cliente, tecnologia de sensor, desenvolvimento de dispositivos inteligentes, capacidade de atualização, interoperabilidade semântica, risco financeiro, compatibilidade, apoio governamental, custo de investimento, ecoeficiência do processo, sistemas ciberfísicos, comportamento do cliente, digitalização do processo, arquitetura de rede, coordenação e colaboração, interface de sistemas, segurança de rede e sistemas ciberfísicos e padronização e integração.

A impressão 3D é outro exemplo de ferramenta que pode atuar descentralizando a produção e reduzindo a geração de resíduos. Essa tecnologia permite a produção de protótipos que reduzem o desperdício de materiais, promove a produção em pequena escala e a produção a partir de materiais que podem ser reciclados (Ideia Circular A, 2021).

O *blockchain* também é outra ferramenta, que pelo processo de rastreabilidade, fornece informações detalhadas sobre os produtos, desde sua origem até a sua destinação final, com o acompanhamento da sua vida útil. Trata-se de uma ferramenta bastante útil à ideia de circularidade, cabendo considerar os custos iniciais potenciais envolvidos na implementação da tecnologia, embora os benefícios excedam os desafios (Ideia Circular A, 2021; Upadhyay et al., 2021).

Conforme estudo realizado por Cezarino et al. (2019), a “Indústria 4.0” trará a possibilidade de se projetar novos modelos de negócios digitais e com maior acesso aos serviços pelos clientes, podendo ser vista como uma facilitadora da “Economia Circular” devido à sua visibilidade e inteligência na construção de produtos e ativos.

O desenvolvimento da “Indústria 4.0” responde aos desafios tecnológicos relacionados aos recursos para as empresas / indústrias, podendo gerar crescimento, novas oportunidades de trabalho e reduzir os impactos ambientais gerados, assim ocorrendo um alinhamento de fatores tecnológicos e socioambientais, a fim de facilitar a transição para a “Economia Circular”.

Os avanços tecnológicos, orientados pelos princípios da “Economia Circular”, podem criar melhores oportunidades para a sociedade. A tecnologia da informação e as tecnologias utilizadas nas indústrias com acesso on-line e implantadas em larga escala, possibilitam a criação de novos negócios para a “Economia Circular” que antes não eram possíveis. Tais avanços somam eficiência à colaboração e ao compartilhamento, permitem o rastreamento mais preciso dos materiais, melhoram as configurações logísticas e de logística reversa e aumentam o uso de energias renováveis (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

A transformação digital poderá redefinir a própria base da nossa economia industrial dependente de materiais, tornando-a menos dependente da extração de recursos finitos. A “Economia Circular” ajuda a dissociar a criação de valor econômico do consumo de recursos. Nessa perspectiva de mudança sistêmica, a internet das coisas se transforma na nova infraestrutura virtualizada que rege o uso dos ativos e movimenta a cadeia de valor. Ferramentas digitais, como plataformas de intercâmbio, que possibilitam muitas vidas úteis e informações integradas a produtos – tornam-se ferramentas físicas importantes no que diz respeito a determinar e direcionar fluxos de ativos. O valor criado pode ir além dos benefícios diretos para os negócios e gerar benefícios ampliados significativamente para a sociedade (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Muitas empresas já estão explorando as interações entre a estrutura da “Economia Circular” e os ativos inteligentes, eliminando barreiras estruturais entre a produção e o consumo ou uso estabelecidas ao longo do tempo, com oportunidades consideráveis para vários setores,

como a indústria manufatureira, o setor energético e de concessionárias públicas, a construção civil (incluindo a área de infraestrutura), a logística e gestão de resíduos, a agricultura e a pesca (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

4.3 Novos Modelos de Negócios

Dado o contexto atual social, econômico, político e do meio ambiente, a transição dos processos de manufatura, as descobertas tecnológicas, as mudanças climáticas, os seus impactos e as exigências impostas para garantir a qualidade de vida, a evolução do pensamento sobre o ecossistema até chegar-se ao conceito da “Economia Circular”, os avanços tecnológicos que nos trouxeram a esse novo mundo digital, diante de tudo disso, estamos vivenciando novos ecossistemas de negócios.

A incorporação da “Economia Circular” nos negócios existentes traz implicações que devem ser avaliadas. No estudo de Salvador et al. (2021) foram identificadas as estratégias da “Economia Circular” com maior influência na gestão dos blocos do modelo de negócios Canvas (segmento de clientes, proposta de valor, canais, recursos chave, parcerias principais, fontes de receitas, estruturas de custos, atividade-chave e relacionamento com os clientes.) em negócios circulares e os blocos mais afetados pelas estratégias da “Economia Circular”.

As estratégias da “Economia Circular” levantadas pelo estudo foram: 1) desenvolver parcerias estratégicas para circularidade e envolver as partes interessadas ao longo da cadeia de valor; 2) *design* para circularidade; 3) projetando resíduos; 4) simbiose industrial; 5) reuso; 6) reciclagem; 7) recondicionamento; 8) práticas orientadas para o uso de materiais ecológicos; 9) prolongando a vida útil do produto; 10) sistemas de devolução; 11) sistemas de produto como serviço; 12) remodelação; 13) remanufatura; 14) reparo e manutenção; 15) desmaterialização e 16) tecnologias digitais para permitir a circularidade (Salvador et al, 2021).

Os blocos do Canvas mais influenciados pelas estratégias de “Economia Circular” foram os segmentos de clientes, relacionamentos com clientes e parcerias-chave. Assim, a análise feita na pesquisa indicou onde as empresas devem concentrar seus esforços na gestão de seus negócios, ao implementar / gerenciar diferentes estratégias de “Economia Circular” (Salvador et al, 2021).

De uma forma geral, os modelos de negócios precisam ser atualizados, frente às exigências ambientais e tecnológicas do ecossistema globalizado e digital, promovendo a sustentabilidade dos negócios. Assim, as estratégias de negócios podem ser apresentadas em

três grupos, com relação ao consumidor, conforme elas ocorrem: antes do uso pelo consumidor, durante o uso e depois do uso, conforme a seguir.

1º grupo – estratégias de negócios que antecedem ao uso do produto pelo consumidor:

- incentivar / dar preferência à produção local, o que favorece a economia local, traz benefícios e fortalece a região;
- apoiar as cooperativas, pois buscam o benefício comum em torno de determinada atividade, além da geração de empregos e riqueza para cooperados e sociedade;
- dar preferência ao uso de matérias-primas circulares como insumos renováveis, recicláveis, com baixa energia incorporada, não poluentes;
- investimentos em P&D com inovações em *design* de produtos, desenvolvimento de métricas e indicadores de circularidade, parceria entre academia e setor privado;
- maximizar a eficiência dos processos (na produção), algumas possibilidades são a simbiose industrial, a fabricação sob encomenda, a ecoeficiência, entre outras;
- buscar a integração da cadeia de valor, a fim de gerar vantagem competitiva;
- utilizar a virtualização de sistemas e equipamentos, para monitoramento, rastreamento e simulação. A virtualização oferece como vantagens a redução do consumo de energia, de custos, melhoria de processos, aumento da produtividade, otimização de gerenciamento, de espaço físico, integração de hardwares, variedade de plataformas e segurança;
- investir no desenvolvimento de produtos duráveis para que possam ser alugados ou compartilhados em um sistema de produto como serviço;
- investir no *design* circular de produtos, o que consiste em adotar um *design* para a utilização do produto, como por exemplo *design* para a reparação, atualização, remanufatura, reciclagem; etc.

A Figura 8 apresenta um exemplo de implantação de um modelo sustentável produtivo dinamarquês, conhecido como Simbiose de Kalundborg. Neste modelo de Simbiose, objetiva-se a partilha de serviços (transporte e infraestrutura) e resíduos/subprodutos (resíduo de uma indústria utilizado como matéria-prima de outra de forma a "fechar o ciclo"), a cooperação entre empresas, possibilitando a diminuição do consumo de materiais e energia (Kalunborg Symbiosis, 2020).

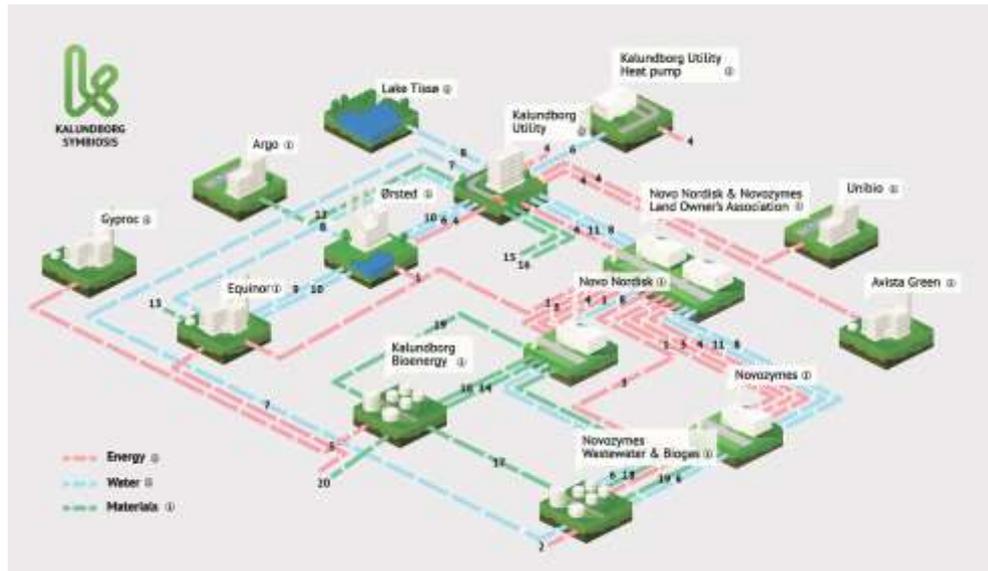


Figura 8 - A Simbiose de Kalundborg representa a primeira simbiose industrial do mundo e tem evoluído nos últimos 50 anos.

Fonte: Kalundborg Symbiosis, 2020.

Na Figura 9, tem-se a evolução da Bicicleta Brompton, dobrável, projetada e construída em Londres desde 1975. Cada bicicleta é soldada à mão tornando-a incrivelmente resistente e única. As rodas pequenas proporcionam grande aceleração e manobrabilidade, aumentam a resistência e rigidez das rodas. A suspensão oferecida pelo longo espigão do selim e bloco de suspensão tornam as bicicletas confortáveis para andar em superfícies ásperas e em longas distâncias (Brompton Bicycles, 2020).



Modelo 1975



Modelo atual



Dobrada

Figura 9 - Bicicleta Brompton dobrável projetada e construída em Londres desde 1975.

Fonte: Brompton Bicycles, 2020.

Na Figura 10, a *startup* nova iorquina Ecovative fornece embalagens, e até mesmo tijolo de cogumelo, um produto com aspecto (e até textura) relativamente parecido com o isopor, produzido a partir de cogumelos e restos de resíduos agrícolas, e que se decompõe em poucos meses na natureza (Ecovative Design, 2020).



Embalagem para celular



Tijolo

Figura 10 - Produtos ecológicos da Ecovative.

Fonte: Ecovative Design, 2020.

2º grupo – estratégias de negócios para a fase de uso do produto pelo consumidor:

- extensão da vida útil do produto, oferecer produtos com maior durabilidade, com garantias e/ou serviços estendidos;
- disponibilizar a venda de consumíveis, peças de reposição e acessórios que favoreçam a longevidade dos produtos;
- ofertar serviços orientados para produtos, para atender às necessidades dos produtos, tais como contrato de manutenção, acordo de devolução, consultoria, atualizações;
- ofertar serviços orientados para utilização, o fornecedor permanece como proprietário do produto, mas oferta serviços, como por exemplo aluguel, leasing (aluguel financiado com opção de compra), compartilhamento (vários utilizadores independentes) e *pooling* (utilização simultânea por vários utilizadores);
- ofertar serviços orientados para resultado (servitização ou sistema-produto-serviço), o que consiste em uma combinação de produtos e serviços para atender às necessidades do usuário. Em um formato mais extremo, as empresas vendem a função do produto, em vez do próprio produto em si. Alguns exemplos são a venda de servidores alugados por hora da

IBM; o Modelo *pay-per-copy* - pague por impressão da Xerox; o pacote de serviços Rolls-Royce *power-by-the-hour* (força por hora) em que os serviços de manutenção, reparo e revisão são cobrados por hora de voo; o serviço da *Air Contract* da Atlas Copco, em que compressores de ar são vendidos por m³ de ar comprimido gerado; o modelo *pay-per-lux* (pague por luz) da Philips para a venda de equipamentos de iluminação, em que os clientes pagam pelo nível prometido de iluminação em um prédio; a solução de gerenciamento de frota da Michelin, segundo a qual os pneus de caminhões são vendidos por quilômetro rodado.

3º grupo – estratégias de negócios para a fase de pós-uso do produto pelo consumidor:

- buscar a integração da cadeia reversa, o que consiste nos canais reversos de troca, devolução em garantia, cancelamento da compra, retorno de embalagens, retorno de resíduos para processamento ou destinação final, retorno de materiais pós-consumo para reaproveitamento;
- venda de produtos de segunda mão (reuso), com a criação de um mercado de produtos usados;
- remanufatura, em que o produto usado é reindustrializado (desmontado, limpo, recondicionado e remontado) pelo próprio fabricante do produto e tem seus componentes desgastados substituídos por novos ou recuperados, devolvendo seu desempenho original e com uma garantia igual ou melhor que o produto novo;
- remodelação com a melhoria estética de um produto;
- atualização com a introdução de melhorias funcionais;
- recuperação / reciclagem quando ocorre a recuperação ou transformação de resíduos em outros materiais ou produtos;
- reuso, que consiste na reutilização do produto com outra finalidade.

4.4 Mudança de Comportamento do Consumidor

As mudanças de comportamento do modelo linear para o Circular passam por uma mudança de *mindset*, assim, vários aspectos podem ser analisados (Figura 11). O escopo precisa deixar de ser no processo em si e passar para o ecossistema. A premissa de eficiência deve passar a efetividade, a eficiência está relacionada a um trabalho bem-feito, enquanto a efetividade diz respeito a capacidade de produzir e manter um efeito, que no caso deseja-se que

seja positivo. A proposta de valor de redução de custos pode ir além, para a geração de valor. O foco nos lucros deve passar à inovação e aos novos valores. As *shareholders* (proprietários e acionistas) podem incluir demais interessados como *stakeholders* (todas as partes interessadas). A ética da competição deve ser abandonada e passar à ética da colaboração. O papel de consumidor deve passar ao papel de usuário. A visão de curto prazo pode ser ampliada para o longo prazo (AMB, 2020).

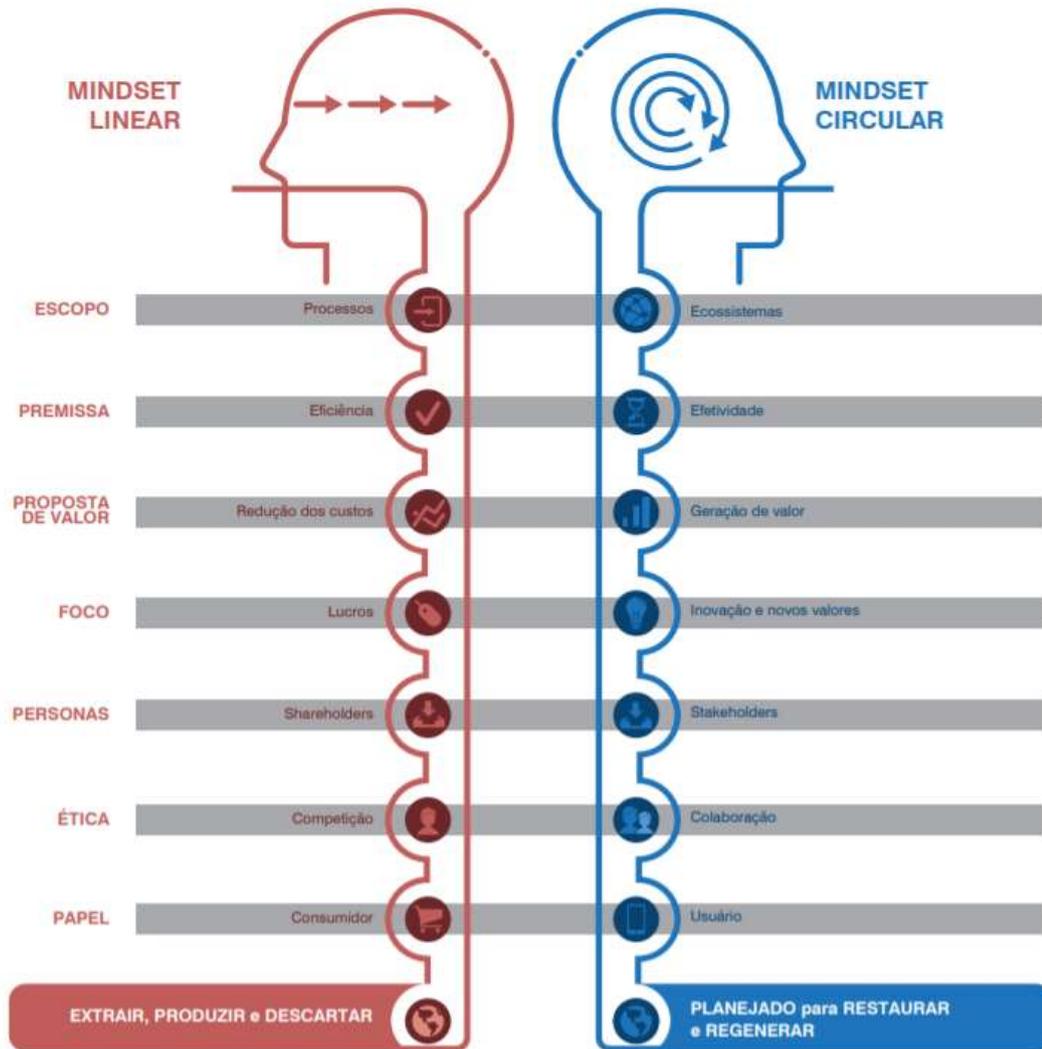


Figura 11 – Aspectos importantes na transição do *mindset* Linear para o *mindset* Circular.

Fonte: CNI, 2018.

Nos modelos de negócios, um exemplo bastante conhecido é o uso compartilhado de bicicletas e patinetes, o que envolve o uso da tecnologia, em um ambiente de negócios de uma “Economia Circular”, em que para o uso do produto basta acessar no celular o aplicativo de aluguel. Esse tipo de serviço pode ser estendido para outros equipamentos, promovendo a

maximização desse modelo. A mudança na forma de utilizar produtos e serviços mostra, além da mudança no modelo de negócio, a mudança no comportamento do consumidor. O consumidor pode ter acesso, porém não precisa ter a posse (Ideia circular, 2021).

A mudança de comportamento do consumidor não é simples, passa por uma readaptação na relação que desenvolvemos durante toda nossa experiência de consumo. A posse acaba gerando o apego, o que no compartilhamento não existe. Assim, essa forma de nos relacionarmos com produtos e serviços já é melhor aceita pelas novas gerações, que entendem que podem usufruir, sem precisar de ter (Ideia circular, 2021).

O compartilhamento de produtos/serviços precisa ser estendido também às empresas, disponibilizando ofertas de aluguel ou de contratação de serviço por tempo determinado, assim as empresas podem se beneficiar até mesmo com a diminuição da necessidade de grandes investimentos (Ideia circular, 2021).

Dessa forma, o esforço da mudança requer que as empresas também se adaptem não só na produção, mas também passem a oferecer mais serviços no lugar de produtos. A oferta de serviços pode atingir mais pessoas interessadas em um mesmo produto, o que diminui o desperdício e leva à redução de custos (Ideia circular, 2021).

A formação do profissional também precisa ser adequada, a fim de preparar pessoas para atuar com as novas tecnologias e com as novas formas de trabalho. Da mesma forma, as empresas também precisam se preparar para atuar, conhecendo as tecnologias e como utilizá-las da melhor forma, o que pode significar mudanças culturais. Tanto profissionais quanto empresas precisam se preparar para os novos padrões de atuação e de competitividade no mercado de trabalho (Ideia circular, 2021).

Um aspecto importante a ser observado, com cautela, é com relação à mudança nas relações de trabalho, pois com a automação dos processos, cada vez menos mão de obra será necessária, aliás não só nas indústrias, mas na área de serviços também. Por outro lado, a mão de obra requerida tende a se tornar mais especializada, o que demanda qualificação profissional e tudo isso gera um grande impacto social (Ideia circular, 2021).

4.5 Educação e Formação Empreendedora

A educação e formação profissional devem ocorrer através da capacitação formal, podendo ser reforçada por meio de campanhas educativas amplas, dando condições tanto técnicas quanto financeiras para sustentar os princípios e valores que se deseja para a sociedade

e para a indústria brasileira como sustentável e circular. Em termos de Pesquisa e Desenvolvimento, além do *know-how*, que garante a competitividade de indústrias e colaboradores, é necessária a elaboração de projetos e, principalmente, o acesso aos recursos materiais e financeiros.

O desenvolvimento de competências em empreendedorismo, para a sustentabilidade, deve ser incorporado nos currículos, para que os futuros profissionais conheçam esses princípios e estejam capacitados para aplicá-los. A “Economia Circular” irá criar empregos em todos os setores industriais para profissionais com conhecimento especializado. A educação é o pilar, sendo importante o papel da educação empreendedora e da inclusão de temáticas relacionadas à sustentabilidade e à “Economia Circular” nos planos curriculares (Lucas et al., 2019).

A necessidade de mudanças de atitude e a quebra de paradigmas na sociedade é, de maneira geral, tanto mais fácil quanto mais acesso à educação tiver a população, de forma que quem tem mais acesso ao conhecimento e aos procedimentos mais inovadores, mais facilmente adota novos comportamentos, na medida em que compreende melhor as vantagens dessas alterações. A introdução de novos valores e paradigmas, no contexto do sistema educativo nos diversos níveis de escolaridade, é uma das formas mais eficazes de promover mudanças de comportamentos e atitudes nas sociedades (Lucas et al., 2019).

Trabalhos desenvolvidos pela *Ellen MacArthur Foundation* preconizam que a sensibilização para o modelo da “Economia Circular”, seja feita através do processo ensino-aprendizagem, e que ele seja considerado de forma holística e através das respectivas interações com o “mundo real”. Assim, o ensino superior pode promover o modelo da “Economia Circular” através de três etapas / momentos fundamentais: i) o desenvolvimento de percepções / conhecimento junto aos alunos relativamente aos sistemas não lineares, complexos e dinâmicos; ii) a promoção do conhecimento acerca da forma como a “Economia Circular” pode ser entendida, considerando aqui os diversos atores (empresas, governo, cidadãos) e o modo de funcionamento complexo dos sistemas vivos, simulando um modelo de análise aplicado a uma estrutura econômica em concreto; iii) associando os conhecimentos anteriores e utilizando modelos de aprendizagem participativa, desenvolvendo modelos de análise passíveis de utilização em diversas aplicações, associando sistemas do mundo real, economia e aprendizagem (Lucas et al., 2019).

A fixação e retenção do conhecimento sobre a “Economia Circular” e o desenvolvimento sustentável, a sua transferência e as boas práticas para a sociedade são um desafio aos estudantes, profissionais e instituições de ensino (Lucas et al., 2019).

É de se esperar que, novos modelos de negócios criem novos empregos, o que precisa ser analisado com cuidado. Segundo Birkel & Miller (2021) as mudanças trazidas pela “Indústria 4.0” eliminarão certos empregos, com no caso do trabalho manual sendo automatizado, mas impulsionará outros, podendo afetar os perfis de trabalho e programas de treinamento. Conforme Sputnik Brasil (2021), como as tecnologias da “Indústria 4.0” prometem ganhos de produtividade muito elevados, as plantas produtivas 4.0 irão permitir melhores salários aos profissionais.

No contexto da “Economia Circular”, presume-se, à princípio, que novas oportunidades de emprego surgirão para perfis de empregos de baixa renda, uma vez que as atividades de reciclagem, reutilização e remanufatura (como no modelo linear) são intensivas em mão de obra e não em recursos. Contudo, há também processos avançados que demandam mão de obra mais especializada, principalmente com o uso das tecnologias 4.0.

4.6 Ecossistema Integrativo Circular 4.0

A “Industria 4.0” traz vários recursos que podem apoiar a transição para uma “Economia Circular”, dado que esta última necessita de recursos avançados, com uma indústria mais modernizada, para sua implementação. A Figura 12 mostra de forma esquemática os pontos-chaves desses temas e as inter-relações entre a “Economia Circular” e a “Indústria 4.0”, destacando-se na região de transição o *design* que se refere a processos, produtos e negócios; a sustentabilidade nos níveis ambiental, econômico e social; as políticas públicas de fomento; o comportamento relacionado à mudança de *mindset* e a educação formal e empreendedora da sociedade como um todo.

A realidade que temos que lidar é que estamos diante de grandes barreiras, também vistas como desafios para acelerar a “Economia Circular” no Brasil, o que mostra que não se trata de um processo simples. Nesse contexto, para implementar ações tão amplas e desafiadoras, é necessário haver o envolvimento de governos, empresas e sociedade civil. As indústrias e empresas precisam estar atentas a seis grandes campos de atuação a saber: social, saúde, meio ambiente, inovação em produtos, mudanças climáticas e garantia do cliente, pois são eles que abrem possibilidades para uma mudança da economia a fim de alcançarmos mais qualidade de vida.

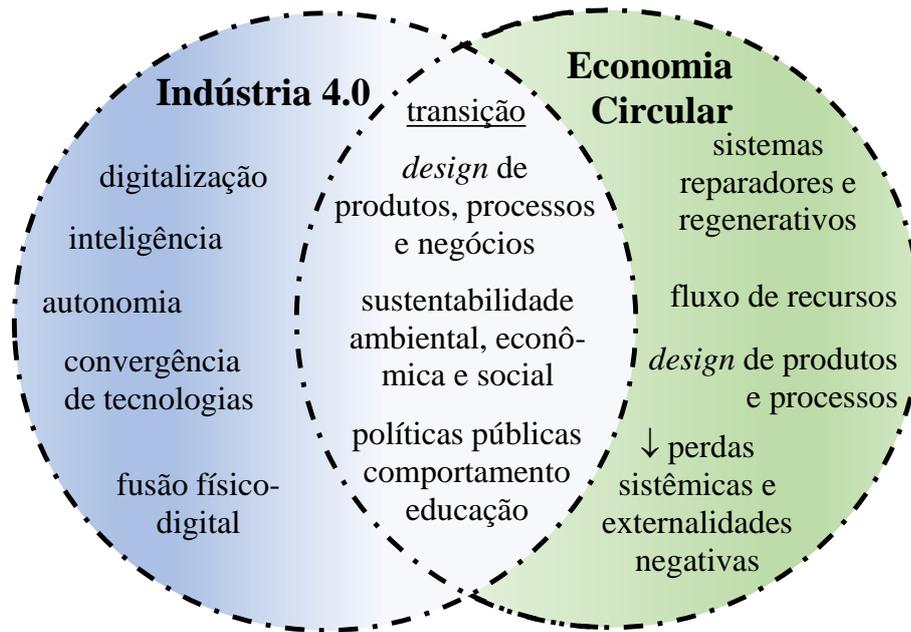


Figura 12 – Aspectos principais e inter-relações entre a “Economia Circular” e a “Indústria 4.0”.

Fonte: Elaborada pela autora.

Alguns desafios dessa transição, com foco no panorama brasileiro, são citados a seguir (Assunção, 2019; Cezarino et al., 2019):

- divulgar, incentivar e investir no conhecimento sobre a “Economia Circular”;
- desenvolver a visão estratégica de negócios para oportunidades frente à “Economia Circular”;
- regulamentar os novos modelos de negócios com princípios circulares;
- promover a integração de processos entre empresas (dispersão geográfica do Brasil);
- desenvolver métricas e indicadores de circularidade;
- resolver problemas de infraestrutura;
- incentivar o uso de recursos em múltiplos ciclos;
- promover a separação de resíduos na fonte;
- melhorar a aceitação dos produtos reciclados por consumidores e empresas;
- desenvolver condutas de responsabilidade nos âmbitos social, econômico e ambiental;
- promover mudanças de atitude em relação às questões ambientais;
- promover a educação ambiental em todos os níveis;
- incentivar e fornecer capacitação profissional;
- adequar aspectos regulatórios e normativos;
- melhorar o sistema de tributação, em vista da tributação brasileira indireta;

- promover a mudança de cultura da indústria brasileira como sustentável (circular);
- estabelecer parcerias intersetoriais para compras / vendas sustentáveis;
- estabelecer parcerias entre academia e setor privado;
- fortalecer as cadeias produtivas e os setores industriais;
- alinhar as políticas de acesso aos financiamentos para recursos, projetos e pesquisas;
- fortalecer as políticas ambientais, mais especificamente a PNRS;
- desenvolver políticas de suporte à inovação para incentivar o design de produtos;
- desenvolver políticas de compras públicas sustentáveis;
- melhorar a articulação das esferas pública e privada para a promoção de novos modelos de negócios digitais.

Com relação à “Indústria 4.0” os desafios também são grandes (com foco no panorama brasileiro) (Cezarino et al., 2019; Ottonicar et al., 2019):

- promover o conhecimento sobre os benefícios trazidos pelo avanço tecnológico;
- melhorar a infraestrutura e o acesso às tecnologias;
- resolver os problemas de conectividade (redes de banda larga e móveis);
- promover a qualificação e competência da força de trabalho frente às novas demandas;
- promover a mudança de *mindset* para a atual dinâmica de desafios tecnológicos e de perfis profissionais mais cada vez mais especializados;
- desenvolver políticas industriais para desenvolvimento / aquisição de tecnologias e bens de capital;
- promover a articulação entre as partes interessadas na inovação do ecossistema.

Contudo, há sempre a oportunidade de se começar com pequenas práticas, ou melhor dizendo, com boas práticas em “Economia Circular”, com o apoio das tecnologias da “Indústria 4.0”, tais como:

- reduzir o uso de recursos primários por meio do *design* modular, reuso, remanufatura e reciclagem;
- recuperar recursos, através da troca de resíduos entre empresas;
- utilizar insumos circulares provenientes de reparo, condicionamento, remanufatura, reciclagem e/ou renováveis;
- utilizar serviços digitais, em substituição a infraestruturas e ativos físicos;
- promover o fornecimento de produtos como serviços;

design da circularidade em seus produtos e processos. A sociedade prefere o uso ao invés do consumo e busca utilizar o produto como serviço, assim age exigindo das empresas o fornecimento de soluções que respeitem os princípios da circularidade.

4.7 Como as Empresas Estão se Adaptando no Brasil e no Mundo

Fiat Chrysler Automobiles (FCA)

A Fiat Chrysler Automobiles (FCA), conglomerado industrial ítalo-americano, tem no Brasil uma das referências na utilização de tecnologias digitais na produção industrial, que é a fábrica de utilitários Jeep em Goiana (PE). A Jeep é a unidade de produção mais moderna do grupo, desde a fusão da montadora italiana Fiat com a americana Chrysler, com capacidade para fabricar 250 mil carros/ano (Inoue et al., 2019).

Uma das tecnologias inovadoras da FCA é o processo flexível na etapa de funilaria, capaz de criar até quatro modelos diferentes, de forma simultânea, com o uso de um sistema chamado *New Plant Landscape* (NPL). Nesse sistema, o veículo é mapeado em cada etapa da fabricação, com uma gestão integrada e em tempo real dos dados de produto e processo, o que permite a análise online com 604 robôs em funcionamento e conectados (Inoue et al., 2019).

A fábrica ainda possui integração com os fornecedores e todos que operam sob o mesmo sistema de comunicação, em tempo real para garantir o fluxo logístico, reduzindo o nível de estocagem. A fábrica Jeep foi concebida utilizando todas as ferramentas de simulação virtual de processos, equipamentos de última geração e soluções de ergonomia (Inoue et al., 2019).

Além da fábrica de utilitários Jeep em Goiana, comentada anteriormente, o Polo Automotivo Fiat em Betim (MG) foi, nos últimos anos, completamente modernizado e replicado para o Polo Automotivo Jeep, Figura 14. A unidade reúne robôs, inteligência artificial, a internet das coisas, realidade virtual, exoesqueletos, simulação, impressão 3D, digitalização e conectividade em seu processo produtivo (Automotive Business, 2021).

	
<p>Sala de realidade virtual simula operações na linha de montagem</p>	<p>Manufatura aditiva (impressora 3D) produz peças de reposição</p>
	
<p>Robôs colaborativos em testes no Manufacturing 2020 e exoesqueleto já em uso por operador na linha de produção</p>	<p>Bracelete conectado ao sistema de produção. Logística, com óculos de realidade aumentada</p>
	
<p>Na funilaria de Betim, 600 robôs trabalham integrados em rede</p>	<p>Linha de montagem é abastecida com peças trazidas por carrinhos-robôs</p>
	
<p>Linha de produção dos novos motores Firefly: Indústria 4.0 desde o nascimento</p>	

Figura 14 - Tecnologia e inovação na Fiat Betim.

Fonte: Automotive Business, 2021.

Conforme Relatório de Sustentabilidade da FCA (FCA, 2020), o grupo FCA acredita no compromisso individual e coletivo, na estratégia eficaz de participação múltipla, no

investimento em processos e tecnologias de ponta e na incorporação da “Economia Circular” nas suas operações. O conceito da “Economia Circular” incorporado, tem foco na redução do desperdício na cadeia de valor, desde o design do veículo até a produção, distribuição, uso e eventual reutilização de materiais. Também foca o potencial de redução da pegada ambiental dos produtos ao longo de seu ciclo de vida, da integração de materiais ecologicamente compatíveis e de opções de design que maximizem a recuperação e reciclagem para veículos em fim de vida. Assim, as práticas de sustentabilidade da FCA ajudam a apoiar os esforços globais, para estimular a transição para uma “Economia Circular” que está focada em maximizar o valor e o uso de materiais, produtos e resíduos.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb)

A Cetesb é a agência ambiental paulista responsável pelo desenvolvimento de ações de controle, licenciamento, fiscalização e monitoramento das atividades potencialmente poluidoras. Essas ações estão voltadas para a promoção, proteção e a recuperação da qualidade do ar, das águas e do solo. A seguir são apresentados três setores de desenvolvimento bastante relevantes no que se refere à “Economia Circular” que são: combustíveis derivados de resíduos, logística reversa e compostagem de baixo impacto.

Combustíveis derivados de resíduos (CDR)

Este setor trabalha para a uniformização do licenciamento de empreendimentos que visem ao aproveitamento de combustível derivado de resíduos (CDR), a partir de uma demanda grande do estado de São Paulo. O objetivo do uso do CDR é a recuperação energética em processos de combustão que utilizam a energia térmica, para fins industriais ou de geração de eletricidade (CIESP, 2020).

Os benefícios esperados são o aproveitamento de resíduos não passíveis de reciclagem, a redução de volume de resíduos destinados aos aterros, aumentando a sua vida útil e redução de emissões de gases de efeito estufa (CIESP, 2020).

De forma geral, a ordem de prioridades para o gerenciamento de resíduos sólidos segue a ordem de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final. Assim, considerando o uso do CDR como forma de destinação final de resíduos com prioridade inferior à reciclagem e superior ao tratamento (CIESP, 2020).

Os resíduos considerados para a preparação do CDR, definidos conforme a Resolução SIMA (Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente) nº 47/2020 são os resíduos sólidos urbanos e equiparados (do comércio, indústria e serviços), os resíduos industriais e os resíduos

gerados em estações de tratamento de água e efluentes. Não são elegíveis os resíduos classificados como perigosos. Em termos de resíduos industriais e lodos, deve-se considerar não só uma listagem de resíduos, como também alguns critérios de classificação, poder calorífico inferior, teor de cloro e líquidos livres (CIESP, 2020).

A Resolução SIMA determina as características mínimas dos combustíveis, as condições operacionais como: limite de emissão, critérios de controle e monitoramento, para disciplinar o licenciamento ambiental das atividades de preparo e de recuperação energética, além de atender ao critério de melhor tecnologia prática disponível, de modo a minimizar os impactos deletérios à saúde pública e ao meio ambiente, aumentando a capacidade de vida útil dos aterros sanitários. Como substituto de combustível convencional, o CDR deve atender aos diversos requisitos preconizados na Lei Federal da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (SIMA, 2021).

O objetivo é atender as demandas de outros setores, com a uniformização no licenciamento de empreendimentos, com ganho energético, não se tratando de mera incineração, mas do aproveitamento energético padronizado para outros tipos de resíduos que poderão ser utilizados em fornos e caldeiras, na substituição do combustível convencional, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa e prolongando a vida útil dos aterros. O combustível é utilizado quando o material está inapropriado para a reciclagem e, ao invés de ir para o aterro, possa ser utilizado como CDR (SIMA, 2021).



Figura 15 - SIMA e CETESB estabelecem diretrizes para a garantir expansão segura da utilização do combustível de resíduos sólidos por empresas paulistas.

Fonte: SIMA, 2021.

A licença concedida à unidade de preparo de CDR é específica e deve conter a listagem de resíduos autorizados. O processo de licenciamento prevê estudo de viabilidade, comprovação de atendimento aos limites de emissão atmosférica e teste de conformidade (CIESP, 2020).

Logística reversa

A logística reversa consiste em um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos (resíduos, produtos e embalagens) ao setor empresarial, para reaproveitamento ou outra destinação final ambientalmente adequada (CIESP, 2020; Cetesb A, 2021).

A Cetesb trabalha para o retorno de produtos/embalagens (Figura 16) de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, assim, visando (CIESP, 2020):

- oferecer canais de retorno;
- reduzir o volume destinado a aterro/incineradores;
- estimular projetos de produtos mais ambientalmente amigáveis;
- evitar/minimizar a geração, reduzindo a quantidade de embalagem e aumentando a vida útil do produto;
- ampliar o uso de material reciclado, substituindo recursos virgens.



Figura 16 - Em iniciativa inédita, a Cetesb regulamenta a inclusão de metas de coleta e outras condições na implementação e operação de logística reversa.

Fonte: Cetesb A, 2021.

No Estado de São Paulo ocorre a exigência gradual da logística reversa em diversos setores industriais, no próprio licenciamento ambiental, o que consiste em uma grande inovação na política ambiental. As indústrias devem apresentar ao Cetesb os seus planos de implementação de sistemas de logística reversa com metas intermediárias definidas por elas e com metas compulsórias, além de um relatório anual (CIESP, 2020; Cetesb A, 2021).

Em 2019 foi estabelecida a incorporação da Logística Reversa no âmbito do licenciamento ambiental para os seguintes produtos e embalagens, pautada em metas quantitativas e geográficas mínimas, separadas por tipos de produtos/embalagens, com base em normas, acordos setoriais ou termos de compromisso (Cetesb B, 2021).

- óleo lubrificante, para a logística reversa do óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC) e de suas embalagens plásticas;
- baterias automotivas;
- pilhas e baterias portáteis;
- lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e luz mista;
- pneus, para logística reversa de pneus inservíveis;
- agrotóxicos, para a logística reversa de suas embalagens vazias;
- tintas imobiliárias, para a logística reversa de suas embalagens.
- óleo comestível;
- filtro de óleo lubrificante automotivo;
- produtos alimentícios, para a logística reversa de suas embalagens;
- bebidas, para a logística reversa de suas embalagens;
- produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, para a logística reversa de suas embalagens;
- produtos de limpeza e afins, para a logística reversa de suas embalagens;
- produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus acessórios, com tensão até 240 Volts;
- medicamentos domiciliares, de uso humano, para a logística reversa dos respectivos medicamentos vencidos ou em desuso e suas embalagens.

Compostagem de baixo impacto

A Resolução SMA no 69/2020 dispõe sobre a dispensa de licenciamento ambiental das atividades de compostagem e vermicompostagem de resíduos orgânicos compostáveis de baixo impacto, sob condições determinadas. A abrangência compreende resíduos sólidos urbanos e equiparados e resíduos de atividades de avicultura, bovinocultura e suinocultura. O principal

objetivo dessa resolução foi sair da nota de corte de 100kg de resíduos/dia para 500kg resíduos /dia, permitindo a compostagem sem licenciamento, o que privilegia condomínios e pequenos empreendimentos para avançar na “Economia Circular” (CIESP, 2020).

Define-se, ainda, que as atividades de compostagem e vermicompostagem, implantadas em empreendimentos, que desenvolvam atividades não licenciáveis pela Cetesb e que processem resíduos gerados exclusivamente no local, também ficam dispensadas do licenciamento ambiental, sendo que a manifestação da Cetesb a respeito da viabilidade do empreendimento ocorrerá por meio da emissão de Parecer Técnico (Cetesb C, 2021).

Arcelor Mittal Brasil

Na siderurgia o cenário da “Economia Circular” é de oportunidades e desafios. O aço tem um importante papel na “Economia Circular” de baixo carbono e ele pode ser considerado um material permanente que oferece muitas das qualidades exigidas pela “Economia Circular”. A reciclagem do aço é feita praticamente desde a sua descoberta, uma vez que suas características não diminuem quando utilizado, reparado ou reciclado. Se houver uma gestão adequada, o aço é um produto permanente, que permite o que chamamos de reciclagem infinita (ArcelorMittal, 2021).

Cerca de 30% de todo o aço produzido no Brasil é proveniente de reciclagem. Qualquer que seja a origem da sucata, o ciclo de reciclagem do aço produz aços novos que podem ser utilizados em qualquer mercado. Entre 80% e 90% de todo o aço produzido até hoje, segue sendo utilizado. Reciclar uma tonelada de sucata conserva mais que o dobro da quantidade de recursos equivalente (ArcelorMittal, 2021):

- 1,5 tonelada de minério de ferro;
- 0,65 tonelada de carvão;
- 0,3 tonelada de calcário.

Uma tonelada de aço reciclado reduz o uso de energia em cerca de 70% em comparação com sua produção a partir das matérias-primas. A reciclagem também reduz o impacto da siderurgia no meio ambiente. Produzir uma tonelada de aço a partir de fontes recicladas reduz as emissões de gás carbônico o equivalente em 1,5 tonelada (ArcelorMittal, 2021).

Em se tratando de processo produtivo, as usinas denominadas *minimills* / *nanomills* vão de encontro aos propósitos da “Economia Circular”. As *minimills* consistem em usinas que operam aciarias elétricas e têm a sucata como principal matéria-prima, o que as torna menos

poluidoras, menos agressivas ao meio ambiente e, como operam com reciclagem de sucata, têm um forte apelo ecológico. A cadeia reversa da sucata torna possível o fluxo reverso dos materiais metálicos do consumidor ao seu ponto de origem, ou seja, a usina siderúrgica (AMB, 2020).

A operação de *minimills* também pode representar uma solução para a produção local de aço, além do aspecto ambiental comentado anteriormente, empregando as cadeias de suprimentos locais para atender a um mercado regional (AMB, 2020).

Outro aspecto importante seria sobre o uso de recursos circulares, em que a utilização do carvão vegetal como redutor nos altos-fornos, em substituição ao carvão mineral, possibilita a utilização de uma base renovável e sustentável para a produção de gusa (líquido). O carbono presente no carvão vegetal transforma-se em gás carbônico nos altos-fornos e, em seguida, é absorvido pelas florestas renováveis, retornando à sua forma original de carbono, e assim garantindo a circularidade. O uso do carvão vegetal reflete ganhos econômicos, ambientais e sociais para o país, sendo o aspecto ambiental significativo, reduzindo o consumo de fontes não-renováveis e as emissões de gases de efeito estufa (AMB, 2020).

A geração própria de energia, pelo reaproveitamento dos gases gerados no processo de produção em centrais termelétricas, ou através de usinas hidrelétricas próprias, é outra característica que insere a siderurgia na “Economia Circular” (ArcelorMittal, 2021).

Segundo dados do Instituto Aço Brasil, em 2018, 55% do consumo de energia elétrica das usinas foi suprido por meio da autogeração, sendo 47% em termelétrica e 8% em hidrelétrica. As empresas do setor investiram R\$ 1,2 bilhão em projetos de proteção ambiental, em iniciativas que envolvem, entre outros, programas de conservação de energia, recirculação de água e reciclagem de aço (ArcelorMittal, 2021).

Outra possibilidade de se trabalhar com recursos, seria através da recuperação ou transformação de produtos pós-consumo em matéria-prima, através da mineração urbana, tal é o caso de construções que são desmontadas, e não demolidas, e que possibilitam o reuso do aço. Além do reuso, a expansão da mineração urbana evita a necessidade da extração da natureza (AMB, 2020).

Com relação à utilização do aço, o uso do produto como serviço, e não através da venda, é outra forma de usufruir do bem sem a necessidade da posse, o que pode acontecer na forma de um aluguel, e que garante o retorno do produto após o seu uso. Tal é o caso do aluguel de aço (Figura 17), na forma de produtos como as estacas pranchas metálicas para atender obras de contenção temporária, podendo ser reutilizadas em diversas obras, sem passar novamente

pelo processo produtivo, em substituição a estruturas de concreto, mais difíceis de serem removidas (AMB, 2020).



Figura 17 – Serviço de aluguel de estacas pranchas metálicas, visando a atender a obras de contenção temporárias.

Fonte: (AMB, 2020).

Como o aço pode contribuir para uma “Economia Circular”

Formas de atuar na “Economia Circular” na produção de aço (AMB, 2020):

- uso da rota do carvão vegetal em detrimento do carvão vegetal, para diminuir a pegada de carbono;
- redução de peso dos produtos de aço, nos últimos 50 anos houve uma redução de 25 a 40% no peso para uma mesma aplicação, o que significa uma redução de 60% da energia consumida para a mesma produção, isso através do desenvolvimento de tecnologias;
- destinação dos resíduos gerados na produção do aço, mais de 90% são transformados em coprodutos, o que evita a extração de outros recursos naturais. Esse processo também diminui o envio de resíduos para o aterro e o volume de resíduos perigosos. A meta é eliminar o descarte em aterro;
- reuso do aço como no aluguel de estacas pranchas metálicas para atender a obras de contenção temporárias, esse modelo de reuso pode reduzir em 10 vezes o potencial de aquecimento global e a emissão de particulados e em 7 vezes a emissão de dióxido de enxofre;
- no setor de construção civil é preciso pensar em modelos sustentáveis, onde não seja necessário demolir e sim desmontar, a fim de reaproveitar o aço em suas características estruturais;
- reciclagem do aço devido à sua alta capacidade de reciclagem, da ordem de 85%, sendo a diferença devido a perdas sistêmicas.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) atua em áreas como a bioeconomia, em que traz elementos da “Economia Circular” para as linhas de atuação, tais como o Programa Cadeias Produtivas, que tem como base o uso sustentável e racional da biodiversidade para a geração de conhecimento, riquezas e melhoria da qualidade de vida para populações que tem, nesses recursos, parte de sua fonte de alimento, renda e cultura. Numa primeira rodada, os projetos apoiados são as cadeias produtivas do açaí, cupuaçu e pirarucu, na região Amazônica e Licuri na Caatinga (CIESP, 2020; MCTI, 2021).

Em Cadeias Produtivas da Amazônia do açaí (Figura 18) e cupuaçu é realizado um estudo de campo para a validação de tecnologia para a produção de alimentos desidratados e em pó a partir da polpa destas frutas amazônicas. O projeto consiste na instalação de minifábricas alimentadas por energias renováveis (fotovoltaica, solar e biomassa). Uma vez que a tecnologia seja validada, poderá ser replicada em outras regiões com outras frutas e hortaliças, tendo como um de seus potenciais clientes os governos locais, ou mesmo o Governo Federal, em políticas públicas para inclusão produtiva (MCTI, 2021).



Figura 18 - Projeto Cadeias Produtivas do açaí na região Amazônica.

Fonte: Nunes, 2021.

Outra cadeia produtiva é a do licuri, típico da Caatinga (Figura 19). O licuri produz um óleo com componentes de interesse industrial, especialmente para o desenvolvimento de fármacos e cosméticos. A identificação destes componentes do óleo de licuri, bem como sua padronização comercial, será realizada utilizando a mais moderna infraestrutura de pesquisa do País em Campinas/SP, o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) vinculado ao MCTI, essencial para o desenvolvimento de novos bioprodutos do licuri. Para garantir a qualidade desde a origem, o projeto também apoiará ações de extensão rural e

transferência tecnológica junto às comunidades extrativistas, garantindo boas práticas de produção (MCTI, 2021).



Figura 19 - Projeto Cadeias Produtivas do licuri na Caatinga.

Fonte: Nunes, 2021.

Por último, a cadeia produtiva do pirarucu (Figura 20) desenvolverá e testará uma unidade flutuante de pré-processamento do pescado, unidade essa construída somente com materiais da região. A unidade é totalmente adaptável a outros peixes amazônicos, como o tambaqui, e, também ao pré-processamento da carne de jacaré. Ela será alimentada por energia fotovoltaica e será construída seguindo as exigências higiênico-sanitária para a obtenção do selo de qualidade do Serviço Estadual de Inspeção (SIE) do Estado do Amazonas. Com essa certificação, o pescado de pirarucu, proveniente de manejo sustentável, poderá acessar novos mercados com melhor remuneração (MCTI, 2021).



Figura 20 - Projeto Cadeias Produtivas do pirarucu na região Amazônica.

Fonte: Nunes, 2021.

Além destas quatro cadeias produtivas, estão sendo levantadas outras cadeias com potencial para integrarem o programa. Numa primeira etapa, espera-se o apoio de projetos voltados ao desenvolvimento de produtos que agreguem e gerem riqueza e melhoria de qualidade de vida para as comunidades locais. Nas etapas seguintes, o programa focará no aproveitamento dos resíduos dessas cadeias, adequando-se ao conceito de circularidade econômica para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular e garantindo a sustentabilidade em todas as suas esferas: ambiental, social e econômica. Com isso, o que hoje é considerado um passivo ambiental poderá se tornar ativo econômico, sendo a base para o desenvolvimento de novos produtos com geração de empregos e renda (MCTI, 2021).

Outra iniciativa do MCTI é o apoio à produção de inventários de Avaliação de Ciclo de Vida de Produtos de diversos setores que visam fortalecer a base de dados nacional de produtos. Na linha de lixo eletrônico, tem-se o Programa Centros de Recondicionamento de Computadores (CRC) que atua na capacitação de jovens para a recuperação de produtos eletrônicos), Figura 21 (CIESP, 2020).



Figura 21 - Programa Centro de Recondicionamento de Computadores (CRC) Programando o Futuro, em Valparaíso de Goiás (GO).

Fonte: ASCOM/MCTI, 2021.

Nesse Programa são 10 mil jovens capacitados, em oito anos, e 116 toneladas de resíduos eletrônicos tratados somente em 2018. Os CRCs estão espalhados pelas cinco regiões

do país, todos recebem doações de computadores, televisores e aparelhos eletroeletrônicos antigos ou quebrados. Depois da triagem, as máquinas são transformadas e as peças são, praticamente, 100% aproveitadas. Os computadores recuperados são doados para telecentros, escolas, bibliotecas ou colocados à disposição em emergências, como aconteceu em Brumadinho/MG (ASCOM/MCTI, 2021).

Na unidade de pesquisa Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer do MCTI, que atua na cadeia reversa de eletrônicos, dois projetos são destaque, o REMATRONIC, que atua no desenvolvimento de processos para recuperação de materiais estratégicos de placas eletrônicas provenientes de resíduos eletroeletrônicos, na melhor relação entre custo, rendimento e impacto ambiental (CIESP, 2020).

A mineração urbana visa a extração de matérias-primas, na forma mais pura possível, a partir de produtos descartados, fontes secundárias. Os objetivos principais são a redução do impacto ambiental do ciclo de vida dos produtos e a geração de empregos e renda na cadeia reversa, através da otimização e viabilização econômica de processos de reciclagem. Através de processos mecânicos, a reciclagem visa reduzir o impacto do problema global, ao mesmo tempo, beneficiando quem precisa de ouro, prata, cobre e paládio. Os metais, em questão, são encontrados comumente em placas de computadores e dispositivos móveis, e podem ser úteis em inúmeros casos (TudoCelular, 2021).

O segundo projeto, LICOBAT (Figura 22) atua no desenvolvimento de processos que permitam a recuperação de materiais estratégicos de baterias de íons lítio esgotadas, objetivando principalmente a recuperação economicamente viável de lítio e cobalto (CIESP, 2020).

Em paralelo ao desenvolvimento dos processos de recuperação dos materiais estratégicos, o projeto também realiza um estudo socioeconômico da logística reversa para pilhas e baterias, tanto na Europa quanto no Brasil, objetivando conhecer a situação atual dessa logística e propor alternativas que garantam a sustentabilidade do negócio de reciclagem. No Brasil, o foco é a possibilidade de inclusão das cooperativas de catadores de resíduos sólidos nos processos da logística reversa, visando viabilizar os impactos social e econômico preconizados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (CTI, 2021).



Figura 22 - Projeto REMATRONIC e Projeto LICOBAT.

Fonte: TudoCelular (2021) e CIT (2021).

Pela FINEP, a agência de inovação vinculada ao MCTI, pioneira no investimento em inovação em “Economia Circular”, ocorre o apoio a pesquisa em matérias-primas da indústria de metálicos, construção civil e minerais industriais. O primeiro projeto, denominado Eramin, atuou como consórcio de várias instituições e agências internacionais, principalmente da União Europeia, buscando projetos na “Economia Circular” (CIESP, 2020).

Alguns exemplos de projetos apoiados pela FINEP são (CIESP, 2020):

- plástico verde: desenvolvimento de rotas para a produção de polipropileno, propeno e dienos verdes a partir de fontes renováveis;
- polietileno de fontes renováveis: com a Braskem;
- fertilizante a partir de lodo de esgoto: com a Sabesp;
- sílica a partir da casca de arroz: com a MPC;
- *design* de peças para a eficiência no consumo de óleo e combustível: com a Mahle;
- fertilizante de fonte alternativa com energia renovável no processo com a B&A;
- produtos de enxofre do rejeito da mineração com a Carbonífera Criciúma;
- desenvolvimento de ingredientes aromáticos naturais de alta performance olfativa a partir de flores nativas com a Natura;
- etanol de segunda geração e novos produtos a partir da cana-de-açúcar com a CTC;
- biogás a partir da biomassa com a Geo Energética.

Um outro projeto recente da Finep, este com apoio a startup Pólen, atua com projeto de solução de um Marketplace B2B para conectar geradores de resíduos com interessados em utilizá-los como matéria-prima (CIESP, 2020).

Outra iniciativa do MCTI é o *Roadmap* de “Economia Circular”, que consiste em uma assistência técnica junto à Agência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), cujo objetivo é levantar o estado da arte da “Economia Circular” no país, identificando as principais iniciativas, *stakeholders* e trazendo um diagnóstico em relação às oportunidades, pontos fortes, desafios e barreiras do país. Esse projeto está em andamento no Brasil, México, Uruguai e Chile (CIESP, 2020).

Confederação Nacional das Indústrias (CNI)

No Brasil, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) é a política mais impactante no que diz respeito ao incentivo à “Economia Circular”, quando trata da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e do valor econômico do resíduo reutilizável / reciclável, porém aspectos como a gestão inadequada de resíduos urbanos e a falta de saneamento são preocupantes (CIESP, 2020).

A ideia da “Economia Circular” está mais relacionada ao uso dos materiais, assim a ideia é manter os recursos nas cadeias produtivas pelo maior período possível, estendendo a vida útil dos materiais por meio do *design*, da manutenção, do reuso, da remanufatura e da reciclagem (CIESP, 2020).

Conforme o Portal do Governo Brasileiro (2021), os Indicadores Brasileiros para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) trazidos pela Agenda 2030, que é adotada desde setembro de 2015 por 193 Estados Membros da ONU (*UN General Assembly Resolution 70/1*), apresentam 17 objetivos e 169 metas de ação global para alcance até 2030. Os ODS’s, em sua maioria, abrangem as dimensões ambiental, econômica e social do desenvolvimento sustentável, de forma integrada e inter-relacionada para incorporar as políticas, programas e planos do governo brasileiro (Figura 23), e dos países signatários da Agenda 2030.



Figura 23 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) no Brasil, relacionados à “Economia Circular”, conforme Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).

Fonte: Portal da Indústria, 2021.

A CNI promoveu várias ações e eventos em 2020 a fim de melhorar o ambiente de negócios e promover as práticas da “Economia Circular” no Brasil, conforme se segue (Portal da Indústria, 2021):

- coordenação da Comissão de Estudo Especial de Economia Circular da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT CEE/323), espelho do Comitê Técnico de Economia Circular da *International Organization for Standardization* (ISO/TC 323), responsável pela elaboração da norma internacional sobre o tema;
- liderança da delegação brasileira na reunião internacional do ISO/TC 323, que contou com a participação de mais de 70 países;
- representação da América Latina e Caribe nas reuniões do Grupo de Alto Nível do Comitê Técnico de Economia Circular da ISO (ISO/TC 323);
- representação do Brasil na reunião de instalação do Grupo Focal sobre Economia Circular da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT);
- liderança dos trabalhos do *Working Group 1* do Comitê ISO/TC 323, coordenado pelo Brasil, em que foi definido o primeiro rascunho da Norma Internacional sobre “Economia Circular”;
- instalação da Rede Economia Circular da Indústria;
- publicação da pesquisa Economia Circular na Indústria Brasileira, inédito levantamento com abrangência nacional, que traz a percepção dos empresários brasileiros sobre a importância do assunto para a indústria brasileira;
- finalização e divulgação das cartilhas Compras Públicas Sustentáveis e ABNT NBR ISO 20400 – Compras Sustentáveis;
- realização da *live* Compras Sustentáveis;
- divulgação da versão em inglês da publicação “Economia Circular: caminho estratégico para a indústria brasileira”;
- realização de duas palestras no Enai 2020: “Economia Regenerativa como oportunidade para as empresas brasileiras”, com a especialista Lorraine Smith, e a apresentação do caso “Flex Brasil: gerando benefícios econômicos, sociais e ambientais por meio da Economia Circular”, com o vice-presidente da empresa, Leandro Santos.

Schneider Electric

A Schneider Electric, empresa global, atua em quase todos os setores da indústria e da infraestrutura, trabalha com soluções tecnológicas para gestão de energia e automação. Ao

empregar a Internet das Coisas e softwares para análise de dados e tomadas de decisão inteligentes, traz um bom exemplo de aplicação da “Indústria 4.0” para promover a “Economia Circular” (Ideia Circular A, 2021).

A Schneider vem elaborando um programa para a “Economia Circular” desde 2015, e em 2018 publicou as suas ambições conforme seguem (Ideia Circular B, 2021):

- mais proposições de valor circular (mais energia como serviço, mais objetos conectados e serviços circulares relacionados);
- mais produtos circulares (modernizar serviços; evitar o uso de novos recursos primários; promoção de capacidades de devolução);
- mais recursos circulares (100% de produtos desenvolvidos a partir do *eco-design*; 75% dos produtos têm “instruções circulares de fim de vida” disponíveis digitalmente para reciclagem responsável; dobrar a quantidade de plásticos reciclados nos produtos até 2025);
- cadeia de suprimento circular (ambição de 100% de papelão reciclado / certificado até 2020; 100% de embalagens recicladas ou de fontes sustentáveis até 2030; 200 fábricas direcionadas para serem “lixo zero” para aterros, com uma taxa de desvio de 95% de resíduos dos aterros, mais centros de devolução e reparo).

Os equipamentos fabricados pela Schneider utilizam o conceito de circularidade, assim são desenhados, tanto os materiais quanto o próprio desenho, pensando na sua futura reutilização e reciclagem, com meta de que 100% dos equipamentos da Schneider utilizem esse conceito (Ideia Circular A, 2021).

Outra iniciativa da marca é a transformação da venda de produtos em venda de serviços, o que permite a maximização da utilização de equipamentos ao longo de sua vida útil, mas também pensando após esse período na sua reutilização e remanufatura (Ideia Circular A, 2021).

Um exemplo de aplicação da Internet das Coisas está num sistema de gestão de ativos, em que a empresa pode monitorar o desempenho de todos os equipamentos da indústria: consumo de energia, temperatura, vibração, de tal forma a conseguir identificar se o equipamento vai dar defeito, o que pode evitar uma parada de produção, permitindo o reparo e o prolongamento da vida útil dos equipamentos. Além disso, a Schneider trabalha para que suas embalagens sejam de materiais recicláveis e que possam ser realmente recicladas (Ideia Circular A, 2021).

As atividades circulares da empresa chegam a responder por 12% de suas receitas. Sendo que em 2018 foi possível evitar a emissão de 30 milhões de toneladas de gás carbônico,

com a renovação de equipamento existente em edifícios, indústrias, infraestruturas, o que seria equivalente a preservação de cerca de 428 mil hectares de árvores (Ideia Circular B, 2021).

A Schneider Electric obteve reconhecimento pelo prêmio *The Circulars* 2019, que é o principal prêmio de “Economia Circular” em nível global, na categoria Multinacional do *World Economic Forum* e do *Forum of Young Global Leaders*, em colaboração com a *Accenture Strategy*, por contribuir significativamente para a “Economia Circular” (Figura 24). A abordagem da Schneider Electric reflete os princípios da *Ellen MacArthur Foundation* que consistem em: preservar e valorizar o capital natural; minimizar a utilização de recursos primários; fomentar novos sistemas, incluindo o leasing, para prolongar o tempo de vida útil dos produtos, promover a reparação, reutilização e, finalmente, a reciclagem de materiais, se todas as outras opções forem esgotadas.



Figura 24 - A empresa *Schneider Electric* recebe o prêmio *The Circulars* 2019 na categoria Multinacional, uma iniciativa do Fórum Econômico Mundial e do Fórum de Jovens Líderes Globais.

Fonte: Ideia circular B, 2021.

Google

A Google em suas ações para promover a “Economia Circular”, Figura 25, incorporando princípios à sua infraestrutura, operações e produtos, planeja a reutilização de recursos em todas as suas operações, produtos e cadeias de suprimentos. Todas as instalações globais do Google funcionam 100% a partir de energia renovável. Além disso, para ajudar a acelerar a transição criou o programa “Google Circular” para a capacitação de pessoas e empresas (Ideia circular B, 2021 Inova Social, 2021).



Figura 25 - “Economia Circular” nas operações da Google.

Fonte: Ideia circular B, 2021.

As tecnologias da “Indústria 4.0” somam para o direcionamento à “Economia Circular” na Google. A empresa utiliza como estratégia a informatização, de forma que tudo é informação transformada em *bits* de dados, assim conexões poderão ser feitas por meio de dados. Essa circularidade, orientada por dados, pretende acelerar a inovação e o crescimento (Ideia Circular B, 2021).

Os princípios que a Google adotou na “Google Circular” foram: *design* circular (produtos), manter produtos e materiais em uso (uso estendido de recursos), promover materiais saudáveis e química segura (para sistemas humanos e ambientais). Entre as ações que pratica por áreas-chave pode-se citar (Ideia circular B, 2021):

- *data centers*: em 2017 a empresa deixou de enviar 91% dos resíduos de operações para aterros sanitários, reaproveitando materiais para outras operações e revendendo equipamentos. A meta é atingir lixo zero em aterros, para suas operações de *data centers*;
- programa Materiais Saudáveis: consiste em locais de trabalho saudáveis e sustentáveis, pensados desde a construção civil até o bem-estar geral. Esse programa já foi adotado em mais de 8 milhões de metros quadrados de escritórios da empresa pelo mundo;
- projeto *Bay View*: sistema de geo-energia que pretende recuperar o calor residual dos prédios para aquecer ambientes, sem o uso de combustível fóssil. Também estão incluídos nesse projeto a reutilização de produtos (portas, armários etc.) em instalações;
- alimentos: a empresa deixou de enviar mais de 2 mil toneladas de alimentos para aterros, desde 2014, e trabalha com equipamentos para mensurar e rastrear o desperdício além de orientar para evitar o descarte;
- produtos eletrônicos: investimentos na produção com materiais reciclados e com uso de materiais seguros. Produtos como o *Google Home* e o *Chromecast* apresentam entre 20% e

75% de plástico reciclado pós-consumo.

A Google valoriza fornecedores de confiança e parcerias para promover a circularidade. Considera o tratamento ético e justo dos trabalhadores como requisito de confiança, assim como locais de trabalho seguros e saudáveis para uma menor pegada ambiental (Ideia circular B, 2021).

Amazon

A Amazon, multinacional de tecnologia norte americana, adota várias soluções digitais nos seus negócios, tais como *e-commerce*, Computação em Nuvem, *streaming*, Internet das Coisas e Inteligência Artificial. A empresa, construiu e lançou, ferramentas que visam aumentar o número de empresas que vendem na Amazon e permitir que vendam mais, aumentar o número de clientes e permitir que eles gastem mais, melhorar a experiência tanto de compra como de venda e ainda garantir que todos tenham acesso aos meios digitais de compra (Cedro Technologies, 2021).

A Amazon também investe em espaços físicos sustentáveis energética e ambientalmente, as denominadas Amazon Spheres (Figura 26). Apesar das Amazon Spheres serem consideradas como "*starchitecture*", uma obra arquitetônica do tipo "estrela" ou de ostentação de poder, ou mesmo icônicas, elas trazem todo um conceito de sustentabilidade corporativo, adotado pela equipe de sustentabilidade da empresa (Visite Seattle, 2021). A equipe de sustentabilidade da Amazon inclui sete grupos especializados: energia e meio ambiente, embalagem, responsabilidade social, serviços de sustentabilidade, ciência e inovação, transporte e tecnologia (Amazon Jobs, 2021).

No ano 2000 foi criado o conceito de *marketplace*, um portal de *e-commerce* colaborativo que reúne produtos e serviços, de vários varejistas, e que garante à Amazon uma taxa sobre as vendas. Nessa mesma época, a empresa lançou o serviço de *streaming* de vídeo Amazon Prime Video e a AWS (Amazon Web Services), que oferece serviços de Computação em Nuvem (Cedro Technologies, 2021).



Figura 26 - O Amazon Spheres, também chamado *The Spheres*, que consiste em um prédio em forma de esferas que faz parte do campus da Amazon no centro de Seattle.

Fonte: Visite Seattle, 2021.

Além das inovações citadas, uma das apostas da Amazon é transformar completamente a maneira como se conhecem os serviços financeiros, prometendo impactar o processo de transformação digital de diversas outras empresas. O foco da estratégia é oferecer serviços para facilitar a vida dos clientes, inclusive para um público que não possui contas bancárias. De pagamentos a empréstimos, com diversos serviços financeiros, sem a preocupação de não ser um banco convencional (Cedro Technologies, 2021).

Paralelamente, a Amazon fez vários investimentos em *fintechs*, principalmente focados em mercados internacionais. As *fintechs* são frutos da Quarta Revolução Industrial que, no mercado financeiro, vem mudando conceitos e transformando o setor. Essas empresas redesenham a área de serviços financeiros, com processos inteiramente baseados em tecnologia (Cedro Technologies, 2021; Pizzi et al., 2021).

A Amazon também investiu agressivamente em infraestrutura e serviços de pagamentos, com o objetivo de tornar os pagamentos mais eficientes e sem atritos para os clientes. O Amazon Pay, lançado em 2007 (ainda não disponível no Brasil), é uma carteira digital para clientes e uma rede de pagamentos para comerciantes. Como forma de atrair comerciantes, a empresa faz o repasse de descontos para os varejistas que o adotam (Cedro Technologies, 2021).

O programa Amazon Cash (também não disponível no Brasil) permite que os clientes depositem dinheiro, sem taxas, em uma conta digital, exibindo um código de barras (impresso ou digital) em caixas de autoatendimento ou estabelecimentos parceiros. Os clientes não precisam de uma conta bancária ou de um telefone para abrir uma conta, apenas de acessar a internet e uma impressora (Cedro Technologies, 2021).

O programa Amazon Allowance, lançado em 2015, permite a criação de uma conta

digital para que crianças comprem na Amazon, vinculado ao Amazon Cash, recebendo os valores depositados pelos pais da criança (Cedro Technologies, 2021).

Em 2018, a Amazon decidiu operar seus empreendimentos além da internet. Com o Amazon Go, para o qual a novidade consiste na dinâmica de pagamento que envolve o consumidor. Ao entrar no estabelecimento, o cliente registra a sua presença utilizando o aplicativo da Amazon, que lê o *QR code* da catraca. O cliente escolhe os produtos que deseja comprar e, simplesmente vai embora, sem passar por filas ou por atendentes. Os estabelecimentos contam com câmeras que utilizam inteligência computacional para identificar os clientes e os produtos selecionados. Assim, todos os produtos escolhidos pelo cliente são inseridos em sua conta da Amazon. Tudo isso acontece sem nenhuma interação do cliente (Cedro Technologies, 2021).

Outro negócio é o Amazon Go Grocery, lançado em 2020, com um estabelecimento físico que conta com um maior número de produtos, como alimentos frescos, higiene, cuidados pessoais e rações para animais. Este modelo conta com um sistema ainda mais inteligente, que identifica quantidades de itens individuais, enquanto o Amazon Go trabalha somente com alimentos empacotados (Cedro Technologies, 2021).

Todas essas iniciativas da Amazon revelam que a empresa tomou os principais componentes de uma experiência bancária moderna e ajusta esses componentes, em seus negócios, para atender aos clientes da *Amazon*, tanto os que vendem como os que compram (Cedro Technologies, 2021).

A Amazon ainda tem planos como utilizar a *blockchain*, a tecnologia por trás das criptomoedas, com a utilização de *tokens*, permitindo pagamentos instantâneos em escala global, com uma moeda única (Cedro Technologies, 2021).

A Amazon também adotou a tecnologia *IoT* e se beneficia de Robôs com *WiFi* para escanear códigos QR em seus produtos (Figura 27), para assim ter um maior controle de seus inventários. Além de ser uma opção muito mais eficiente para realizar inventário, os dados gerados possibilitam a percepção de novas tendências, e auxiliam na tomada de decisões estratégicas (Inoue et al., 2019).

Outra tecnologia que a Amazon utiliza é a de entregas, que consiste na entrega sem o cliente em casa, chamada Amazon Key. O cliente precisa ter uma chave digital Amazon e uma *webCam* da empresa, a *Cloudcam*, que é uma câmera que monitora a casa com imagens *full HD*. No dia da entrega, o cliente recebe uma notificação do horário de chegada do entregador e outro alerta informa o motorista sobre a permissão de entrega. Ao mesmo tempo, o cliente abre a fechadura da porta para permitir que o funcionário entre na sua casa e ele possa ver toda a

ação, em tempo real, por meio da câmera. Ao final da visita, bloqueia-se a passagem e o cliente recebe o vídeo da entrega. Este serviço está disponível apenas nos Estados Unidos (Fashion Bubbles, 2021).



Figura 27 - Gestão de inventários da Amazon, logística e robótica nas operações.

Fonte: Amazon Jobs, 2021.

Outro tipo de entrega é a realizada por *drones*, nos Estados Unidos desde 2016. O produto é entregue na casa do cliente com prazo de menos de 30 minutos. A entrega é rastreada e tem um limite específico de pesagem (Fashion Bubbles, 2021).

A Amazon também trabalha com moedas virtuais, a Amazon Coin, moeda que permite ao cliente efetuar compras na área interna da Amazon, ou até mesmo licenças específicas para utilizar determinados produtos, como Kindle, Kindle Fire, entre outros (Fashion Bubbles, 2021).

Em termos de produtos tecnológicos, a Alexa é um dos mais recentes desenvolvimentos, a assistente virtual, muito útil na vida diária dos clientes. A Alexa já conta com um novo recurso, chamado Live Translation de Alexa, que permite que indivíduos de idiomas diferentes, consigam se comunicar nos dois idiomas diferentes, com a Alexa atuando como intérprete e traduzindo os dois lados da conversa (Fashion Bubbles, 2021).

A Amazon também desenvolveu a Wag, que consiste em uma linha inteira de produtos especializada para *pets*. O primeiro artigo lançado foi a ração para cães, mas haverá novos insumos para outros tipos de animais de estimação, com o compromisso de fornecer a constituição das rações (Fashion Bubbles, 2021).

Outro produto altamente tecnológico desenvolvido pela Amazon é o leitor de livros digitais. O Kindle permite a abertura de qualquer arquivo, seja em versão PDF, ou de livros digitais (Fashion Bubbles, 2021).

Tesla, Inc.

A Tesla, montadora norte americana, famosa pelos automóveis elétricos de alto desempenho, inovou no mercado automotivo com as frequentes atualizações de *software* de seus veículos que os proprietários da marca recebem. Os automóveis são equipados com sensores e radares que captam os dados de utilização do veículo, que são analisados e devolvidos na forma de melhorias técnicas a cada atualização. Com isso a marca aprimora itens, como o sistema de piloto automático do veículo, que faz ajustes na velocidade e permite ao motorista planejar melhor suas viagens, com base na autonomia de carga (Inoue et al., 2019).

Na fábrica da Tesla, Figura 28, a manufatura avançada está em vários aspectos: as máquinas (robôs) são equipadas com sensores de conexão e sincronização, a intervenção humana e o tempo de inatividade na fábrica são próximos de zero, há um elevado grau de flexibilidade: cada máquina pode realizar diferentes tarefas como soldagem, rebitegem (*reviting*), delimitação (*bounding*) e instalação de componentes (Prezi, 2021).

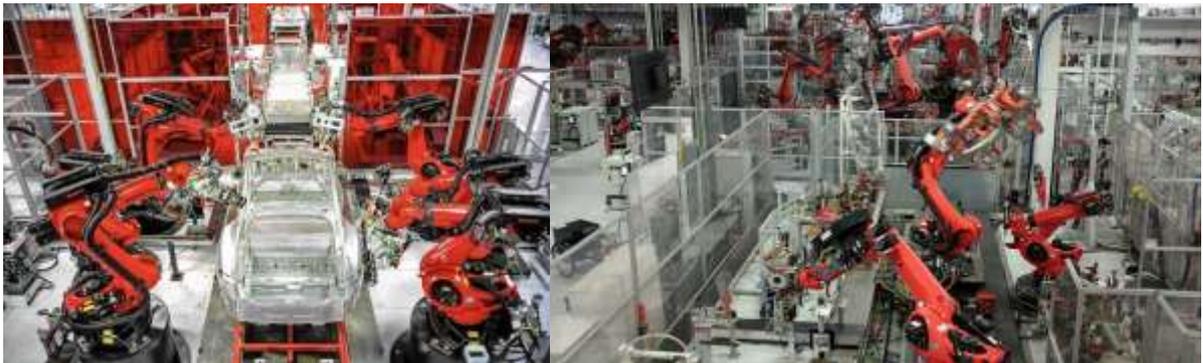


Figura 28 - Fábrica da Tesla na Califórnia (EUA) mostrando o seu elevado grau de automação.

Fonte: Prezi, 2021.

Em se tratando de fábricas de veículos elétricos, a(s) *Gigafactory(ies)* da Tesla é um dos expoentes da tecnologia atual. A proposta é de produzir novos veículos elétricos, com alta automatização e numa velocidade sem precedentes na indústria automóvel.

Há também uma nova dinâmica impressa, no nível ambiental, no uso da energia e na reciclagem, em que toda a energia usada é proveniente de painéis fotovoltaicos, o que permite uma economia de escala, sem precedentes, para as baterias de lítio, a principal componente dos veículos elétricos. As baterias de lítio são 100% reaproveitáveis e recicláveis. Além de se combater a questão fundamental de que as baterias possam acabar em aterros, a empresa quer

evitar o desperdício de materiais valiosos, transformando-os em novos produtos. A proposta da *Gigafactory* é de se reutilizar os mesmos materiais para diversas finalidades, num *loop* fechado.

Em cooperação com outras empresas, a *Gigafactory* vai produzir baterias a um custo reduzido, devido a economia de escala, inovação na manufatura de materiais, redução de gastos e ao simples fato de que, tendo todas as linhas de produção trabalhando sob o mesmo teto, há otimização de muitos processos. Assim, o custo do kilowatt-hora (kWh) deve ser reduzido em 30% (E-Cycle, 2021).

A *Gigafactory* Shanghai, a mais recente linha de produção da Tesla, está próxima de uma linha completamente automatizada. Há seções da produção onde se pode ver oito robôs trabalhando simultaneamente num único carro. Em 2020, a sua capacidade de produção anual era de 200.000 veículos (Mais Tecnologia, 2021).

Apple

A Apple, multinacional norte americana, especializada na fabricação de eletrônicos, sendo os *smartphones* e computadores o carro chefe da marca, envia correntemente atualizações de seu sistema operacional aos proprietários de *iPhones* (Inoue et al., 2019).

A Apple foca em fazer produtos cada vez melhores e mais resistentes, além de oferecer serviços de reparo especializados para garantir uma maior durabilidade. Assim, quando um aparelho Apple não é mais utilizado, a marca oferece a possibilidade de retorná-lo para uso de outra pessoa ou para reciclagem com responsabilidade. Assim, a marca recebe muitos aparelhos antigos, graças ao programa GiveBack (um *iPhone* velho é usado como parte pagamento para um modelo novo) (Apple, 2021; Tecmundo, 2021).

Em 2017, a Apple tornou público seu compromisso de um dia fabricar produtos usando apenas materiais renováveis e reciclados. Avanços como a Daisy e Dave, nos Estados Unidos e Europa, que são os robôs de desmontagem da marca, asseguram que são recuperados mais materiais com melhor qualidade do que por meio dos processos tradicionais de reciclagem. O robô *Daisy* é responsável por reciclar *iPhones* e consegue processar até 200 unidades do *smartphones* por hora, e 100% da energia utilizada por ela vem de fontes renováveis, Figura 29. A cada 100 mil aparelhos, o robô recupera 1,9 mil quilos de alumínio, 770 quilos de cobalto, 710 quilos de cobre e 11 quilos de elementos. O robô é considerado pela empresa um passo relevante na busca pela produção de aparelhos feitos apenas de materiais recicláveis (Apple, 2021; Ideia Circular C, 2021; Tecmundo, 2021).

A marca garante que tem iniciativas para garantir que as matérias-primas utilizadas sejam obtidas de forma responsável, seguindo programas e padrões rígidos. Além de manter esse compromisso, a Apple se desafia a conseguir fazer todos os seus produtos sem extrair recursos finitos do planeta, o que pode demandar anos de colaboração entre as diferentes equipes da Apple, fornecedores e empresas de reciclagem (Apple, 2021).



Figura 29 - Robô Daisy, da Apple processa até 200 *iPhones* por hora.

Fonte: Tecmundo, 2021.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A economia global avança, se adaptando às necessidades e exigências, baseada em um modelo essencialmente linear, porém marcado por esforços para uma “Economia Circular”. Esse processo de transição, mesmo que por necessidades impostas pelas condições atuais de problemas ambientais, pode e deve ser visto como oportunidade para a adoção de processos produtivos eficientes e ambientalmente sustentáveis, e não como questão regulatória. Enquanto isso, a “Indústria 4.0” traz vários recursos que podem apoiar a transição para uma “Economia Circular”, dado que esta última necessita de recursos avançados para sua implementação.

O sistema da “Economia Circular” repensa as práticas da organização econômica da sociedade (economia linear), visando a adoção de sistemas industriais intencionalmente reparadores e regenerativos, o fluxo dos recursos renováveis (nutrientes biológicos) e finitos (nutrientes técnicos), o *design* circular de produtos e processos, e a diminuição das perdas sistêmicas e das externalidades negativas.

Por outro lado, a “Indústria 4.0”, num processo de extensa modernização tecnológica, trouxe a digitalização dos processos, a inteligência dos sistemas com as “fábricas inteligentes”, a autonomia das máquinas, a convergência das tecnologias para a transformação digital e a fusão físico-virtual para a quebra de paradigmas, frente aos desafios tecnológicos do sistema dinâmico atual.

Assim, a transição para a “Economia Circular”, no contexto de implantação da “Indústria 4.0”, pode ser viabilizada através das suas inter-relações, com destaque para o *design* circular, que se refere a processos, produtos e negócios; a sustentabilidade nos níveis ambiental, econômico e social; as políticas públicas de fomento; o comportamento relacionado à mudança de *mindset* e a educação formal e empreendedora da sociedade como um todo.

Entretanto, a realidade que temos que lidar é que estamos diante de grandes desafios para acelerar a “Economia Circular” no Brasil e no mundo, o que mostra que não se trata de um processo simples, embora de extrema importância para conduzir organizações e sociedades na atual revolução industrial ao desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, para implementar ações tão amplas e desafiadoras, e com uma nova mentalidade empresarial, é necessário haver o envolvimento de governos, empresas e sociedade civil. As indústrias e empresas precisam estar atentas às possibilidades para uma mudança da economia a fim de alcançarmos mais qualidade de vida.

Da discussão e conclusão dos temas, tem-se que, embora os conceitos e as análises apresentados sejam discutidos na literatura, faz-se necessário passar à implementação prática

da "Economia Circular" em conjunto com a "Indústria 4.0". A transição para uma "Economia Circular" traz oportunidades econômicas, ambientais e sistêmicas, para as empresas e para os cidadãos, em todos os setores.

REFERÊNCIAS

Albertin, M. P.; Eliennesio, M. L. B.; Aires, A. S.; Pontes, H. L. J.; Junior, D. P. A. Principais inovações tecnológicas da indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura. XXXIV Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru, SP, Brasil, 2017.

AMB. Webinar Economia Circular - Arcelor Mittal Brasil, 04/06/2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=StVCRgJA0aw>. Acesso em: 09/11/2020.

Amazon Jobs. Disponível em: https://www.amazon.jobs/pt/business_categories/operations-technology. Acesso em 08/04/2021.

Apple. Perguntas frequentes mais respostas para suas perguntas sobre a Apple e o meio ambiente.

<https://www.apple.com/br/environment/answers/#:~:text=Em%202017%2C%20a%20Apple%20tornou,pela%20Apple%20ou%20por%20outros>. Acesso em 07/04/2021.

ArcelorMittal. O aço e a economia circular. Disponível em: <https://blog.arcelormittal.com.br/economia-circular/>. Acesso em 14/04/2021.

ASCOM/MCTI. Lixo para uns, economia circular e inclusão digital para todos. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/salaImprensa/noticias/arquivos/2019/02/Lixo_para_uns_economia_circular_e_inclusao_digital_para_todos.html. Acesso em 12/04/2021.

Assunção, G. M. A gestão ambiental rumo à economia circular: como o Brasil se apresenta nessa discussão. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, v.14, n.2, p.223-231, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.20985/1980-5160.2019.v14n2.1543>.

Azevedo, J. L. A economia circular aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. XI Congresso nacional de excelência em gestão. ISSN 1984-9354. Agosto de 2015.

BeeCircular. Diagrama de borboleta: no caminho da circularidade. Disponível em: <https://www.beecircular.org/post/borboleta>. Acesso em: 29/04/2021.

Bag, S.; Yadav, G.; Dhamija, P.; Kataria, K. K. Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study, *Journal of Cleaner Production*, v.281, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125233>.

Birkel, H.; Muller, J. M. Potentials of industry 4.0 for supply chain management within the triple bottom line of sustainability - A systematic literature review, *Journal of Cleaner Production*, v.289, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125612>.

Both, F.; Fischer, A. Gestão e contabilidade ambiental. *Unoesc & Ciência, Área das ciências sociais aplicadas - ACSA, Joaçaba*, v. 8, n. 1, p. 49-57, jan./jun. 2017. Disponível em: <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/acsa/article/view/12599/pdf>. Acesso em: 30/06/2021.

Brompton Bicycles. Brompton bicycles Australia. Disponível em: <https://bromptonaustralia.com/unfold-your-city>. Acesso em: 10/11/2020.

Calabrò, V. Work 4.0: What is it and why does it matter? 2019. Recuperado de: <https://www.coople.com/uk/future-of-work/work-4-0/>.

Cedro Technologies. Como a Amazon está mudando as tecnologias para o mercado financeiro. Disponível em: <https://blog.cedrotech.com/como-amazon-esta-mudando-tecnologia-para-mercado-financeiro/#:~:text=A%20Amazon%20j%C3%A1%20estava%20presente,vender%20mais%20produtos%20na%20Amazon>. Acesso em: 08/04/2021.

Cezarino, L. O.; Liboni, L. B.; Stefanelli, N. O. Oliveira, B. G.; Stocco, L. C. Diving into emerging economies bottleneck: industry 4.0 and implications for circular economy. *Management Decision*, 0025-1747. DOI: <https://doi.org/10.1108/MD-10-2018-1084>.

Cetesb A. Logística reversa será condicionante do licenciamento ambiental. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/blog/2018/04/06/logistica-reversa-sera-condicionante-do-licenciamento-ambiental/>. Acesso em: 13/04/2021.

Cetesb B. Logística reversa e as alterações da decisão de diretoria CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/blog/2019/10/28/logistica-reversa-e-as-alteracoes-da-decisao-de-diretoria-cetesb/>. Acesso em: 13/04/2021.

Cetesb C. São Paulo dispensa licenciamento para compostagem e vermicompostagem de baixo impacto ambiental. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/blog/2020/09/09/sao-paulo-dispensa-licenciamento-para-compostagem-e-vermicompostagem-de-baixo-impacto-ambiental/>. Acesso em: 13/04/2021.

CIESP. 1º Evento internacional Economia Circular – Lixo eletrônico – CIESP Jundiá – 07/10/2020 a 08/10/2020. Disponível em <https://youtu.be/TAWKYM7XyqI> parte 1,

<https://youtu.be/HfZxP77U2Bc> parte 2 e <https://youtu.be/DzBuiUDYBLM> parte 3. Acesso em: 08/10/2020.

CTI – Centro de da informação Renato Archer. Lítio e cobalto: CTI Renato Archer inicia projeto internacional para recuperação de materiais estratégicos de pilhas e baterias descartadas. Disponível em: https://www.cti.gov.br/pt-br/noticias/1%C3%ADtio-e-cobalto-cti-renato-archer-inicia-projeto-internacional-para-recupera%C3%A7%C3%A3o-de-materiais?fbclid=IwAR2uvip7QBwPCgM1tXQ_CDWATS2T3JUJbYqjDuXTgB2agIgyYWG VbNH-VoU4. Acesso em: 12/04/2021.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira, Brasília: CNI, 2018. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/2f/45/2f4521b9-d1eb-44f7-b501-cda01254738a/miolo_economia_circular_pt_web.pdf. Acesso em: 20/07/2021.

Cui, Y.; Liu, W.; Rani, P.; Alrasheedi, M. Internet of Things (IoT) adoption barriers for the circular economy using Pythagorean fuzzy SWARA-CoCoSo decision-making approach in the manufacturing sector, *Technological Forecasting and Social Change*, v.171, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120951>.

Davies, H. T. O. and I. K. Crombie. Getting to Grips with Systematic Reviews and Meta-Analyses, *Hospital Medicine*, 59 (12), p.955–958, 1998.

Delloite – Mundo Corporativo. Admirável mundo 4.0. Disponível em: <https://mundocorporativo.deloitte.com.br/admiravel-mundo-4-0/>. Acesso em: 08/04/2021.

Diaz-Chao, A.; Ficapal-Cusi, P.; Torrent-Sellens, J. Environmental assets, industry 4.0 technologies and firm performance in Spain: A dynamic capabilities path to reward sustainability, *Journal of Cleaner Production*, v.281, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125264>.

Ecovative Design. We Grow Materials. Disponível em: <https://ecovatedesign.com/>. Acesso em: 10/11/2020.

Ellen MacArthur Foundation A. Economia circular – Escolas de pensamento. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/escolas-de-pensamento>. Acesso em: 04/05/2021.

Ellen MacArthur Foundation B. Infographic - Circular economy system diagram. Disponível em: www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic. Acesso em: 04/05/2021.

Ellen MacArthur Foundation. Rumo à Economia Circular: o racional de negócio para acelerar a transição. 2015. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a%CC%80-economia-circular_Updated_08-12-15.pdf. Acesso em: 30/04/2021.

Ellen MacArthur Foundation. Ativos inteligentes – A liberação do potencial da economia circular. 2016. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/IA_Portuguese_1.pdf. Acesso em: 30/04/2021.

Ellen MacArthur Foundation. Uma economia circular no Brasil: uma abordagem exploratória inicial. Programa CE100 Brasil. Janeiro, 2017. Disponível em: [Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf](#) . Acesso em: 30/04/2021.

Fashion Bubbles. Tecnologias desenvolvidas pela Amazon: conheça as melhores. Disponível em: <https://www.fashionbubbles.com/tecnologia/tecnologias-desenvolvidas-pela-amazon-conheca-as-melhores/268202/>. Acesso em: 08/04/2021.

FCA - Fiat Chrysler Automobiles Sustainability Report 2019, 2020. Disponível em: <https://www.fiat.com.br/institucional/sustentabilidade.html>. Acesso em: 25/07/2021.

Freitas, L. C.; Besen, G. R.; Jacobi, P. R. Panorama da implementação da política nacional de resíduos sólidos: resíduos urbanos. In: Política nacional de resíduos sólidos – implementação e monitoramento de resíduos urbanos. Organizadores: Gina Rizpah Besen; Luciana Freitas; Pedro Roberto Jacobi. São Paulo: IEE / USP & OPNRS, p.11-33, 2017.

IBRACON. NPA 11 - Normas de procedimentos de auditoria ambiental - Balanço e ecologia. São Paulo: Ibracon, 1996. Disponível em: <http://www.ibracon.com.br/>. Acesso em: 18/12/2020.

Ideia Circular A. Indústria 4.0 e Economia Circular – entrevista com Regina Magalhães. Disponível em: <https://www.ideiacircular.com/industria-4-0-e-economia-circular/>. Acesso em: 10/03/2021.

Ideia Circular B. Google Circular e Schneider Electric: Indústria 4.0 e Economia Circular em grandes empresas. Disponível em: <https://www.ideiacircular.com/economia-circular-em-grandes-empresas/>. Acesso em: 17/03/2021.

Ideia Circular C. Novo robô de reciclagem da Apple desmonta 200 iPhones por hora. Disponível em: <https://www.ideiacircular.com/novo-robot-de-reciclagem-da-apple-desmonta-200-iphones-por-hora/>. Acesso em: 07/04/2021.

Ideia Circular D. O que é cradle to cradle? Disponível em: <https://www.ideiacircular.com/o-que-e-cradle-to-cradle/>. Acesso em: 04/05/2021.

Indústria 4.0 - Panorama da inovação. Publicações FIRJAN – Cadernos SENAI de inovação, 2016.

Inova Social. Google anuncia estratégia de economia circular e suas operações no mundo todo. Disponível em: <https://inovasocial.com.br/solucoes-de-impacto/google-economia-circular/>. Acesso em: 12/04/2021.

Inoue, J. S. P.; Bittencourt, M. V. A. R.; Pinto, S. B.; Geribello, R. S.; Amarante, M. S. Indústria 4.0 – Impactos da tecnologia da informação na nova indústria. Pesquisa e Ação V5 N1: Junho de 2019. ISSN 2447-0627.

Kalunborg Symbiosis. Explore the Kalunborg Symbiosis. Disponível em: <http://www.symbiosis.dk/en/>. Acesso em: 10/11/2020.

Khan, I. S.; Ahmad, M. O.; Majava, J. Industry 4.0 and sustainable development: a systematic mapping of triple bottom line, Circular Economy and Sustainable Business Models perspectives, *Journal of cleaner production*, v.297, 2021. DOI: <https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jclepro.2021.126655>.

Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/L12305.htm. Acesso em: 27/04/2021.

Leitão, A. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o século XXI. Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting, ISSN: 2138-3826, v.1, n.2, p.149-171, September 2015. Disponível em: <http://u3isjournal.isvouga.pt/index.php/PJFMA>. Acesso em: 28/04/2021.

Lucas, M. A.; Sousa, K. A.; Ramos, I. J.; Rego, C. Desenvolvimento sustentável, circular e educação empreendedora. In: Pesquisa em inovação: múltiplos olhares rumo a uma convergência formativa. Organizador: Gilson Pôrto Junior. Palmas: EDUFT, p.13-30, 2019.

Mastos, T. D.; Nizamis, A.; Terzi, S.; Gkortzis, D.; Papadopoulos, A.; Tsagkalidis, N.; Ioannidis, D.; Votis, K.; Tzovaras, D. Introducing an application of an industry 4.0 solution for

circular supply chain management, *Journal of Cleaner Production*, v.300, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126886>.

MCTI. MCTI prioriza ações para o desenvolvimento sustentável de cadeias produtivas. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2020/10/mcti-prioriza-acoes-para-o-desenvolvimento-sustentavel-de-cadeias-produtivas>. Acesso em: 11/04/2021.

NEITEC - Núcleo de estudos industriais e tecnológicos. A simbiose industrial além das fronteiras. Disponível em: <http://www.neitec.eq.ufrj.br/blog/a-simbiose-industrial-alem-das-fronteiras/>. Acesso em: 12/05/2021.

Nunes, B. Technological solutions for bioeconomy and biodiversity. Disponível em: http://www.greenrio.com.br/arquivos/10.00-Bruno_Nunes-MCTI.pdf. Acessado em 12/04/2021.

Otonicar, S. L. C.; Vatemim, M. L. P. Mosconi, E. Políticas públicas aplicadas à indústria 4.0: estudo comparativo entre o Brasil e o Canadá com foco na competência em informação. *RICI Revisa Íbero-Americana de Ciência da Informação*, v.12, n.2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26512/rici.v12.n2.2019.19596>.

Prezi. Industry 4.0: The Tesla motors case. Disponível em: https://prezi.com/_eqyrwdbthn4/industry-40-the-tesla-motors-case/?frame=051aea3a8efc2f3a3b3432d0a36e1e8c50555a36. Acesso em: 09/04/2021.

Portal da Indústria. CNI - Indústria sustentável - Temas de atuação - Economia circular. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/industria-sustentavel/temas-de-atuacao/economia-circular/>. Acesso em: 13/04/2021.

Sehnm, S.; Pereira, S. C. F. Rumo à economia circular: sinergia existente entre as definições conceituais correlatas e apropriação para a literatura brasileira. IBEPES | Curitiba-PR, Brasil. Revista Eletrônica de Ciência Administrativa – RECADM, v.18, n.,1 p.35-62, Jan-Mar 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21529/RECADM.2019002>.

SIMA. SIMA e CETESB estabelecem diretrizes para a utilização de combustível de resíduos sólidos. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2020/08/sima-e-cetesb-estabelecem-diretrizes-para-a-utilizacao-de-combustivel-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 13/04/2021.

Tecmundo. Apple apresenta novo robô capaz de reciclar 200 iPhones por hora. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mercado/129467-apple-robo-daisy-capaz-reciclar-200-iphones-hora.htm>. Acesso em: 07/04/2021.

Teixeira, C. H. S. B.; Teixeira, R. L. P. Cenário da indústria 4.0 e a gestão da qualidade. Engenharia 4.0: a era da produção inteligente. 1ª ed. São Luís / MA: Editora Pascal, 2021, v. 5, p. 175-183.

Teixeira, R. L. P.; Teixeira, C. H. S. B.; Brito, M. L. A.; Silva, P. C. D. Desafios da siderurgia na Indústria 4.0 no Brasil. Gestão da produção em Foco. 1ª ed.: Editora Poisson, 2020, v.42, p. 148-158.

TudoCelular. Rematronic: tecnologia brasileira é capaz de reciclar metais preciosos do lixo eletrônico. Disponível em: <https://www.tudocelular.com/tech/noticias/n127164/tecnologia-brasileira-metals-lixo-eletronico.html>. Acesso em: 12/04/2021.

Venturini, L. D. B; Lopes, L. F. D. O modelo *triple bottom line* e a sustentabilidade na administração pública: pequenas práticas que fazem a diferença. Trabalho de conclusão de curso de especialização EaD em gestão pública pelo Centro de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/11691>. Acesso em: 04/05/2021.

Visite Seattle. Amazon spheres: a floresta da Amazon no centro de Seattle! Disponível em <https://visiteseatle.com/amazon-spheres-seattle/>. Acesso em: 08/04/2021.

Pizzi, S.; Corbo, L.; Caputo, A. Fintech, and SMEs sustainable business models: Reflections and considerations for a circular economy, *Journal of Cleaner Production*, v..281, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125217>.

Ribeiro, V. C.; Ferreira, E. A.; Lyra, J. R. M.; Santos, E. J.; Sousa, J. G. Contabilidade ambiental: visão teórica, definição e tendências. JNT - Facit Business and Technology Journal, ISSN 2526-4281, v. 1, n. 1, 2017. Disponível em: <http://revistas.faculdefacit.edu.br/index.php/JNT/article/view/136>. Acesso em: 30/06/2021.

Rizvi, S. W. H.; Agrawal, S.; Murtaza, Q. Circular economy under the impact of IT tools: a content-based review, *international journal of sustainable engineering*, v.14(2), pp.87-97, 2021.

Salvador, R.; Barros, M. V.; Freire, F.; Halog, A.; Piekarski, C. M; De Francisco, A. C. Circular economy strategies on business modelling: Identifying the greatest influences, *Journal of*

cleaner production, v.1.299, 2021. DOI: <https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jclepro.2021.126918>.

Shayganmehr, M.; Kumar, A.; Garza-Reyes, J. A.; Muktadir, Md. A. Industry 4.0 enablers for a cleaner production and circular economy within the context of business ethics: A study in a developing country, *Journal of cleaner production*, v.281, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125280>.

Silva, C. L.; Fugii, G. M; Biernsaki, I.; Mysczsuk, A. P. Indicadores multidimensionais das políticas de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos das capitais brasileiras: panorama de 2008 a 2014. In: Política nacional de resíduos sólidos – implementação e monitoramento de resíduos urbanos. Organizadores: Gina Rizpah Besen; Luciana Freitas; Pedro Roberto Jacobi. São Paulo: IEE / USP & OPNRS, p.34-53, 2017.

Sputnik Brasil - Indústria 4.0: Brasil está muito atrasado e leva muito pouco a sério esse debate, diz especialista. Disponível em: <https://br.sputniknews.com/brasil/2021080917879990-industria-40-brasil-esta-muito-atrasado-e-leva-muito-pouco-a-serio-esse-debate-diz-especialista/>. Acesso em: 09/08/2021.

Upadhyay, A.; Mukhuty, S.; Kumar, V.; Kazancoglu, Y. Blockchain technology and the circular economy: Implications for sustainability and social responsibility, *Journal of cleaner production*, v.1.293, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126130>.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Lista de artigos selecionados na revisão sistemática da literatura

Idioma: português / espanhol – Palavras-chave: "Economia Circular" e "Industria 4.0"

Nro	Tipo de pesquisa	Ano	Artigo	Autores	Conteúdo
1	Revisão	2015	"Blockchain vs ISO 9001: 2015", Revista 3C Tecnologia, 2019, Vol.8(2), pp.36-49. https://www.3ciencias.com/articulos/articulo/blockchain-vs-iso-90012015/	Pérez Molina, Ana	Neste comunicado, é feita uma introdução detalhada sobre a tecnologia Blockchain, os benefícios de sua utilização, bem como sua utilização nos chamados contratos inteligentes. As possíveis aplicações Blockchain vinculadas a um sistema de gestão da qualidade baseado na norma ISO 9001: 2015 são desenvolvidas em detalhes.
2	Estudo descritivo	2019	Aspects of sustainability and design engineering for the production of interconnected smart food packaging, Revista PLoS One, May 2019, Vol.14(5), p.e0216555. https://dx-doi.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1371%2Fjournal.pone.0216555	Cabot, María; Luque, Amalia; de Las Heras, Ana; Aguayo, Francisco	No presente trabalho, o problema do desperdício de alimentos e o conceito de sustentabilidade são estudados. É também realizada uma análise da Avaliação do Ciclo de Vida como ferramenta e do conceito inovador de Cradle to Cradle, juntamente com uma comparação exaustiva destas duas abordagens. Com base nesses conceitos, uma metodologia integrada é proposta para o projeto de produtos inteligentes interconectados.

Idioma: inglês – Palavras-chave: "circular economy" e "industry 4.0"

Nro	Tipo de Pesquisa	Ano	Artigo	Autores	Conteúdo
1	Revisão bibliográfica e uso	2021	Internet of Things (IoT) adoption barriers for the circular economy using Pythagorean fuzzy SWARA-CoCoSo decision-making	Cui, Yongfeng; Liu, Wei; Rani, Pratibha; Alrasheedi, Melfi	O crescimento de novas tecnologias de ponta como a Internet das Coisas (IoT) é proposto pelo conceito de indústria 4.0. Apesar do vasto potencial da IoT para ser usado na economia circular, a adoção da IoT

	de modelagem de dados		approach in the manufacturing sector, Technological forecasting & social change, October 2021, Vol.171. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120951		ainda está em sua etapa principal. Este estudo tem como objetivo identificar as barreiras importantes para a adoção da IoT na economia circular no setor de manufatura. Para tanto, foi realizado um estudo de pesquisa para a avaliação das barreiras de adoção de IoT na economia circular.
2	Aplicação e teste de modelo de Economia Circular	2021	Introducing an application of an industry 4.0 solution for circular supply chain management, Journal of cleaner production, 01 June 2021, Vol.300. https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jclepro.2021.126886	Mastos, T. D.; Nizamis, A.; Terzi, S.; Gkortzis, D.; Papadopoulos, A.; Tsagkalidis, N.; Ioannidis, D.; Votis, K.; Tzouvaras, D.	Nos últimos anos, práticas sustentáveis de gestão da cadeia de suprimentos foram adotadas por empresas que desejam reduzir os impactos ambientais e sociais negativos em suas cadeias de suprimentos. Dentro dessa perspectiva, uma abordagem circular foi desenvolvida na literatura da cadeia de suprimentos.
3	Identificação de estratégias de Economia Circular	2021	Circular economy strategies on business modelling: Identifying the greatest influences, Journal of cleaner production, 25 May 2021, Vol.299. https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jclepro.2021.126918	Salvador, Rodrigo; Barros, Murillo V; Freire, Fausto; Halog, Anthony; Piekarski, Cassiano M; De Francisco, Antonio C	O objetivo deste artigo é identificar as estratégias da economia circular com maior influência para a gestão de cada bloco de construção do modelo de negócios em negócios circulares; e os blocos de construção do modelo de negócios que são mais afetados pelas estratégias de economia circular.
4	revisão de mapeamento de literatura	2021	Industry 4.0 and sustainable development: A systematic mapping of triple bottom line, Circular Economy and Sustainable Business Models perspectives, Journal of cleaner production, 15 May 2021, Vol.297.	Khan, Iqra Sadaf; Ahmad, Muhammad Ovais ; Majava, Jukka	A Indústria 4.0 foi identificada como um dos principais contribuintes para a era da digitalização. Suas implicações para o desenvolvimento sustentável têm ganhado atenção generalizada das perspectivas do triplo resultado final, modelos de negócios sustentáveis e economia circular. O

			https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jclepro.2021.126655		objetivo deste artigo é mapear o amplo campo do desenvolvimento sustentável.
5	Estudo experimental	2021	Industry 4.0, cleaner production and circular economy: An integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations. Journal of cleaner production, 01 May 2021, Vol.29. https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jclepro.2021.126253	Gupta, Himanshu; Kumar, Ashwani ; Wasan, Pratibha	As organizações estão enfrentando cada vez mais pressão para mudar os modelos de manufatura tradicionais para sustentáveis, o que reforça a necessidade de avaliar seu desempenho em questões de sustentabilidade. O presente estudo desenvolveu um framework baseado em conceitos de economia circular., produção sustentável mais limpa e padrões da Indústria 4.0 para avaliar o desempenho de sustentabilidade das empresas de manufatura.
6	Revisão narrativa e integrativa da literatura	2021	Blockchain technology and the circular economy: Implications for sustainability and social responsibility, Journal of cleaner production, 15 April 2021, Vol.293. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126130	Upadhyay, Arvind; Mukhuty, Sumona ; Kumar, Vikas ; Kazancoglu, Yigit	A tecnologia Blockchain é um novo protocolo revolucionário para compartilhar e atualizar informações vinculando livros-razão ou bancos de dados em uma rede descentralizada, ponto a ponto e de acesso aberto.
7	revisão sistemática da literatura	2021	Potentials of industry 4.0 for supply chain management within the triple bottom line of sustainability -- A systematic literature review, Journal of Cleaner Production, March 20, 2021, Vol.289. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125612	Birkel, Hendrik; Muller, Julian M.	A indústria 4.0 foi estudada na literatura existente da perspectiva da gestão da cadeia de suprimentos ou do triple bottom line de sustentabilidade, mas ambas as perspectivas ainda não foram suficientemente combinadas. Em resposta, este documento resume o estado atual da literatura sobre os potenciais relacionados à Indústria 4.0.

8	Revisão sistemática da literatura	2021	Circular economy under the impact of IT tools: a content-based review, International journal of sustainable engineering, 04 March 2021, Vol.14(2), pp.87-97.	Rizvi, Syed Wasiul Hasan; Agrawal, Saurabh; Murtaza, Qasim	Para superar o problema de escassez de recursos atualmente disponíveis no futuro, a estratégia ótima, emergindo sob a bandeira de 'Economia Circular (CE)', seria manter os recursos relacionados ao produto, sempre em circulação.
9	Metodologia de pesquisa aplicada com sistemas de modelagem	2021	Industry 4.0 enablers for a cleaner production and circular economy within the context of business ethics: A study in a developing country, Journal of cleaner production, 25 January 2021, Vol.281. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125280	Shayganmehr, Masoud; Kumar, Anil ; Garza-Reyes, Jose Arturo ; Moktadir, Md. Abdul	Para alcançar a sustentabilidade, as empresas estão adotando práticas de Produção Mais Limpa e Economia Circular para produzir produtos de melhor qualidade com o menor custo, enquanto diminuem o impacto ambiental negativo A implementação dessas práticas é altamente influenciada pelos capacitadores da tecnologia da Indústria 4.0.
10	pesquisa exploratória e modelo teórico desenvolvido por software	2021	Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study, Journal of Cleaner Production, Jan 25, 2021, Vol.281. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125233	Bag, Surajit; Yadav, Gunjan; Dhamija, Pavitra ; Kataria, Krishan Kumar	Países em desenvolvimento como a África do Sul almejam ser uma nação que aproveitou totalmente o potencial da inovação tecnológica da Indústria 4.0 para fazer a economia crescer e elevar as pessoas do país. O país motivou os fabricantes a se concentrarem na manufatura inteligente.
11	Estudo qualitativo indutivo e metodologia matriz ReSOLVE	2021	Fintech and SMEs sustainable business models: Reflections and considerations for a circular economy, Journal of Cleaner Production, Jan 25, 2021, Vol.281. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125217	Pizzi, Simone; Corbo, Leonardo; Caputo, Andrea	Seguindo os paradigmas operacionais propostos pela Indústria 4.0, os últimos anos têm se caracterizado pelo rápido crescimento das empresas de base tecnológica que adotam cada vez mais modelos de negócios sustentáveis.

12	Levantamento de Estratégias Empresariais por operação estatística censitária anual	2021	Environmental assets, industry 4.0 technologies and firm performance in Spain: A dynamic capabilities path to reward sustainability. <i>Journal of Cleaner Production</i> , Jan 25, 2021, Vol.281. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125264	Diaz-Chao, Angel; Ficapal-Cusi, Pilar; Torrent-Sellens, Joan	A consolidação da indústria 4.0 (I4.0) como um novo ecossistema inovador gerou grandes expectativas sobre seus efeitos econômicos e ambientais. Neste estudo, investigamos se as tecnologias I4.0 podem reforçar a gestão de ativos ambientais na obtenção de resultados, usando um painel de 1.028 empresas industriais espanholas no período de 2009-2016.
13	Método de avaliação de laboratório e teste de tomada de decisão	2021	The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal, <i>Journal of Cleaner Production</i> , Jan 10, 2021, Vol.279. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123854	Chauhan, Ankur; Jakhar, Suresh Kumar; Chauhan, Chetna	A geração de resíduos de saúde a partir de diferentes atividades de assistência ao paciente em hospitais, laboratórios de patologia e centros de pesquisa tem sido motivo de grande preocupação para órgãos ambientais e sociais por sua natureza infecciosa e perigosa, que traz doenças que afetam a vida.
14	Método baseado em delineamento de pesquisa empírica	2021	Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development, <i>International journal of production economics</i> , January 2021, Vol.231. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844	Bag, Surajit; Gupta, Shivam; Kumar, Sameer	As tecnologias da Indústria 4.0 fornecem soluções digitais para a automação da manufatura. Em modelos baseados na economia circular, os recursos permanecem no sistema enquanto ele experimenta um dos 10Rs (Recusar, Repensar, Reduzir, Reutilizar, Reparar, Recondicionar, Remanufaturar, Reaproveitar, Reciclar e Recuperar).
15	Revisão sistemática e modelagem matemática	2021	Industry 4.0 Model for circular economy and cleaner production, <i>Journal of Cleaner Production</i> , Dec 20, 2020, Vol.277. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123853	Rajput, Shubhangini; Singh, Surya Prakash	No cenário competitivo de hoje, as indústrias de manufatura estão atrasadas na implementação do conceito Industry 4.0 ou na integração de componentes inteligentes devido ao alto custo e ao alto consumo de energia devido ao mercado volátil.

16	Levantamento bibliográfico e análise DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)	2021	Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges, Journal of cleaner production, 01 December 2020, Vol.275. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063	Kumar, Ravinder; Singh, Rajesh K.; Dwivedi, Yogesh Kr	Na era da Indústria 4.0 e da economia circular, as pequenas e médias empresas estão sob enorme pressão para tornar suas operações de fabricação éticas e sustentáveis. Negócios com operações éticas e sustentáveis se tornaram a necessidade do dia no ambiente atual da Indústria 4.0 e da economia circular. Foi observado que a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 pode ajudar a atingir o objetivo de operações éticas e sustentáveis.
17	Levantamento bibliográfico e mineração de dados, modelos de resposta de demanda em vários níveis	2020	Data-driven sustainable intelligent manufacturing based on demand response for energy-intensive industries, Journal of Cleaner Production, Nov 20, 2020, Vol.274. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123155	Ma, Shuaiyin; Zhang, Yingfeng; Liu, Yang; Yang, Haidong; Lv, Jingxiang; Ren, Shan	A economia circular desempenha um papel importante nas indústrias de uso intensivo de energia, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento social ético e sustentável. A resposta à demanda de energia é um ator fundamental para uma produção mais limpa e uma estratégia de economia circular.
18	Estudo conceitual da literatura e pesquisa empírica	2020	Design of Product–Service Systems: Toward an Updated Discourse, Systems (Basel), 01 November 2020, Vol.8(45), p.45. https://doi.org/10.3390/systems8040045	Johan Lugnet; Åsa Ericson; Tobias Larsson	A lógica da engenharia, composta pela lógica estabelecida para o design e desenvolvimento de produtos, foi confrontada por uma mudança para uma economia circular. A digitalização permite a transformação, mas também aumenta as complexidades relacionais em escopo e número.

19	Revisão sistemática da literatura	2020	The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies, Journal of business research, November 2020, Vol.120, pp.241-261. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044	Kristoffersen, Eivind; Blomsma, Fenna; Mikalef, Patrick; Li, Jingyue	As tecnologias digitais (TDs), como a Internet das Coisas (IoT), big data e análise de dados, são consideradas facilitadoras essenciais da economia circular (CE). No entanto, como CE e TDs são campos emergentes, existe pouca orientação sistemática.
20	Revisão bibliográfica simples	2020	Emerging Industrial Revolution: Symbiosis of Industry 4.0 and Circular Economy: The Role of Universities, Science, technology & society (New Delhi, India), November 2020, Vol.25(3), pp.505-525. https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1177/0971721820912918	Ramakrishna, Seeram; Ngowi, Alfred; Jager, Henk De; Awuzie, Bankole O	O crescente consumismo e a população em todo o mundo levantam preocupações sobre as aspirações de sustentabilidade da sociedade. Isso levou a pedidos de esforços concertados para mudar da economia linear para uma economia circular, que estão ganhando impulso globalmente.
21	Revisão sistemática da literatura e processamento quant. de texto avançado com software NVivo e avaliação qualitativa	2020	Smart remanufacturing: a review and research framework, Journal of Manufacturing Technology Management, 2020, Vol.31(6), pp.1205-1235.	Kerin, Mairi	Objetivo Revisar o estado da arte na remanufatura inteligente, destacando os principais elementos de um futuro da Indústria 4.0 (I4.0) que apóia os princípios da economia circular (CE) e oferece uma estrutura conceitual e agenda de pesquisa para acelerar a digitalização neste setor. Os bancos de dados Scopus, Web of Science e ScienceDirect e os termos de pesquisa "Indústria 4.0", "Internet das coisas", "Manufatura inteligente" e "Remanufatura" foram usados.

22	Revisão sistemática da literatura e técnicas forward snowball e backward snowball	2020	A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case, Journal of cleaner production, 01 May 2020, Vol.254. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120112	Yadav, Gunjan; Luthra, Sunil; Jakhar, Suresh Kumar; Mangla, Sachin Kumar; Rai, Dhiraj P	A adoção da sustentabilidade tornou-se aspecto extremamente essencial na última década. No entanto, a adoção da sustentabilidade na cadeia de suprimentos é mais uma preocupação para as organizações de manufatura. Constantemente, o mercado em constante mudança tem insistido que essas organizações revisem suas atividades de cadeia de suprimentos.
23	Revisão bibliográfica simples	2020	The sustainable manufacturing concept, evolution and opportunities within Industry 4.0: A literature review, Advances in mechanical engineering, May 2020, Vol.12(5). https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1177/1687814020925232	Sartal, Antonio; Bellas, Roberto; Mejías, Ana M; García-Collado, Alberto	A sociedade atual está se conscientizando de que um novo modelo econômico de produção e consumo deve levar em consideração seus impactos ambientais e sociais. As indústrias estão sob pressão crescente, a fabricação sustentável deve minimizar os impactos ambientais e o consumo de energia e recursos naturais, ao mesmo tempo em que é socialmente responsável e economicamente viável.
24	Revisão bibliográfica simples e banco de dados dos Indicadores de Desenvolvimento Mundial - índice composto	2020	Using ICT indicators to measure readiness of countries to implement Industry 4.0 and the SDGs, Environmental Economics and Policy Studies, Apr 2020, Vol.22(2), pp.315-337.	Godwell, Nhamo; Nhemachena, Charles; Senia, Nhamo	No epicentro da Indústria 4.0 está a Tecnologia da Informação e Comunicação (Tic) e, ao longo dos 17 Desenvolvimento Sustentável (ODS), estão os indicadores com foco nas TIC. Além disso, o ODS se concentra na promoção da industrialização sustentável e no incentivo à inovação. Este artigo mostra 212 países e regiões, elaborando um índice composto de linha de base de 2015 usando 3 dos 6 indicadores ODS relacionados às TIC com dados.

25	Revisão sistemática, dados bibliométricos e análise de redes sociais	2020	Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda, International journal of production research, 03 March 2020, Vol.58(5), pp.1462-1484. https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1080/00207543.2019.1652777	Machado, Carla Gonçalves; Winroth, Mats Peter; Ribeiro Da Silva, Elias Hans Dener	Esta revisão sistemática pretende identificar como a pesquisa de manufatura sustentável está contribuindo para o desenvolvimento da agenda da Indústria 4.0 e para uma compreensão mais ampla sobre as ligações entre a Indústria 4.0 e a Manufatura Sustentável, mapeando e resumindo os esforços de pesquisa existentes.
26	análise bibliométrica	2020	Sustainable Development and Industry 4.0: A Bibliometric Analysis Identifying Key Scientific Problems of the Sustainable Industry 4.0, Energies, 2020, Vol.13(16), p.4254. https://doi.org/10.3390/en13164254	Gajdzik, Bożena; Grabowska, Sandra; Saniuk, Sebastian; Wieczorek, Tadeusz	O objetivo principal do manuscrito é a identificação dos principais problemas de pesquisa no campo do desenvolvimento sustentável, na era da implementação do conceito Indústria 4.0. O manuscrito apresenta resultados da análise bibliométrica na: “Indústria Sustentável 4.0”.
27	análise de dados bibliométricos com revisão sistemática		Systematic Literature Review: Integration of Additive Manufacturing and Industry 4.0, Metals, 2020, Vol.10(8), p.1061. https://doi.org/10.3390/met10081061	Hernandez Korner, Mario; Lambán, María; Albajez, José; Santolaria, Jorge; Royo, Jesús	A tendência de pesquisa em manufatura aditiva (AM) evoluiu nos últimos 30 anos, desde patentes, avanços no design e materiais camada por camada até tecnologias. No entanto, essa evolução se depara com algumas barreiras.
28	revisão sistemática da literatura de dados secundários	2020	Additive manufacturing technologies and business models – a systematic literature review, Journal of Manufacturing Technology Management, 2020, Vol.32(1), pp.136-155. https://doi-	Florén, Henrik; Barth, Henrik; Gullbrand, Jeanette; Holmén, Magnus	Objetivo: Este artigo revisa pesquisas sobre a interseção entre tecnologias de manufatura aditiva (AMTs) e modelos de negócios (BM). O objetivo da revisão é sintetizar pesquisas anteriores para o benefício dos pesquisadores, para descrever os temas de pesquisa dominantes e questões de pesquisa

			org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1108/JM-TM-01-2020-0009		agregadas e para identificar lacunas de pesquisa na literatura.
29	Pesquisa bibliográfica simples, pesquisa CAWI (Computer — Assisted Web Interview) e Servqual.	2020	Personalization of Products in the Industry 4.0 Concept and Its Impact on Achieving a Higher Level of Sustainable Consumption, <i>Energies</i> , 2020, Vol.13(22), p.5895. https://doi.org/10.3390/en13225895	Sebastian Saniuk; Sandra Grabowska; Bożena Gajdzik;	A sustentabilidade está entre as direções mais importantes no desenvolvimento global. O desafio hoje é conciliar o crescimento econômico mais rápido possível e a busca da prosperidade com a preocupação com o meio ambiente. Um dos problemas importantes das economias e sociedades modernas é reduzir o consumo geral e implementar novos padrões de consumo e produção sustentáveis.
30	Pesquisa bibliográfica simples e modelagem matemática	2020	Modelling of sharing networks in the circular economy, <i>Journal of Modelling in Management</i> , 2020. https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1108/JM2-05-2019-0101	Jayakumar, J.; Jayakrishna, K.; K.E.K, V.; Hasibuan, S.	Objetivo: O objetivo deste artigo é desenvolver e otimizar um modelo matemático baseado em uma estrutura que integra conceitos-chave relacionados a uma economia circular (CE) e economia compartilhada (SE) para um fabricante líder de laptops na Índia.
31	Pesquisa bibliográfica simples, Análise de Componentes Principais (PCA) e DEMATEL (análi	2019	Connecting circular economy and industry 4.0, <i>International journal of information management</i> , December 2019, Vol.49, pp.98-113. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.002 Received 1 November 2018; Received in revised form	Rajput, Shubhangini; Singh, Surya Prakash	O objetivo deste artigo é compreender a conexão oculta entre a Economia Circular (CE) e a Indústria 4.0 no contexto da cadeia de suprimentos. Os fatores responsáveis por ligar o CE e a Indústria 4.0 são estudados de dois ângulos viz. do lado dos facilitadores e do lado das barreiras. No artigo, vinte e seis fatores facilitadores significativos e quinze fatores desafiadores são identificados, os quais são

	se de causa e efeito)				posteriormente fatorados usando Análise de Componentes Principais (PCA).
32	análise bibliométrica da literatura	2019	AN ANALYSIS OF THE EXTENT TO WHICH INDUSTRY 4.0 HAS BEEN CONSIDERED IN SUSTAINABILITY OR SOCIO-TECHNICAL TRANSITIONS, South African Journal of Industrial Engineering, Nov 2019, Vol.30(3), pp.41-51. https://doi.org/10.7166/30-3-2245	Asiimwe, M M; de Kock, I H	Um crescente banco de dados de literatura é voltado para a análise e avaliação da Indústria 4.0. Um dos pontos de interesse é a avaliação da Indústria 4.0 no contexto da sustentabilidade e do desenvolvimento sustentável. No entanto, parece haver uma lacuna na literatura que enfoca as transições para estados mais sustentáveis que são evidentemente fomentados por transições sociotécnicas, às vezes chamadas de 'transições de sustentabilidade'.
33	Análise descritiva e análise comparativa	2019	NEW INDUSTRIAL BUSINESS MODELS: FROM LINEAR TO CIRCULAR ECONOMY APPROACH, Trakia journal of sciences, 01 October 2019, Vol.17(Suppl. 1), pp.511-523. https://doi.org/10.15547/tjs.2019.s.01.082	N. Sterev	No crescimento da transformação da Indústria 4.0, a economia mudou. Assim, não apenas as regulamentações da economia são fomentadas, mas uma nova abordagem de negócios tem surgido: a abordagem da economia circular / regenerativa.
34	Pesquisa empírica	2019	Identifying the equilibrium point between sustainability goals and circular economy practices in an Industry 4.0 manufacturing context using eco-design, Social Sciences, 1 August 2019, Vol.8(8). https://doi.org/10.3390/socsci8080241	Garcia-Muiña, F.E.; González-Sánchez, R.; Ferrari, A.M.; Volpi, L.; Pini, M.; Siligardi, C.; Settembre-Blundo, D.	Para empresas de manufatura, a transição para modelos de negócios circulares pode ser dificultada tanto pela falta de dados relevantes quanto por ferramentas operacionais. O ecodesign, associado às tecnologias IoT da Indústria 4.0, pode ser uma abordagem metodológica eficaz no desenvolvimento de produtos que sejam consistentes com os princípios da economia circular.

35	Pesquisa com método do estruturalismo	2019	Diving into emerging economies bottleneck: Industry 4.0 and implications for circular economy, Management Decision, 2019. https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1108/M-D-10-2018-1084	Cezarino, L.O.; Liboni, L.B.; Oliveira Stefanelli, N.; Oliveira, B.G.; Stocco, L.C.	Objetivo: Neste artigo, os autores pretendem explorar a relação entre os conceitos de Indústria 4.0 e economia circular como contribuição para a decisão de gestão em países emergentes. Ao analisar as tendências da produção científica para averiguar a interface de ambos os construtos.
36	Metodologia de modelagem estrutural interpretativa (ISM)	2019	Industry 4.0 – challenges to implemente circular economy, Benchmarking: An International Journal Vol. 28 No. 5, 2019 pp. 1717-1739. https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1108/BIJ-12-2018-0430	Rajput, S.; Singh, S.P.	Objetivo: O objetivo deste artigo é identificar as barreiras da Indústria 4.0 para alcançar a economia circular. O estudo se concentra em explorar a ligação entre a Indústria 4.0 e a CE. Isso leva à implementação da Indústria 4.0-CE integrada e à obtenção de produção e consumo sustentáveis.
37	Método interpretativo SAP-LAP (situation, actor, process and learning, action, performance)	2019	A SAP-LAP linkages framework for integrating Industry 4.0 and circular economy, Benchmarking: An International Journal Vol. 28 No. 5, 2019 pp. 1638-1664. https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1108/BIJ-10-2018-0310	Chauhan, C.; Sharma, A.; Singh, A.	Objetivo: Nos últimos anos, os dois tópicos cada vez mais populares, a saber, Indústria 4.0 e economia circular (CE), têm atraído a atenção de muitos acadêmicos e profissionais. No entanto, a conexão entre o CE e a Indústria 4.0 não foi muito investigada na literatura. Motivado por essa lacuna, o objetivo deste artigo é integrar essas duas correntes.
38	Revisão Sistemática da Literatura	2018	Digitisation and the Circular Economy: A Review of Current Research and Future Trends, Energies, Nov 2018,	Okorie, Okechukwu; Salonitis, Konstantinos; Charnley, Fiona; Moreno, Mariale;	Desde que apareceu pela primeira vez na literatura, a economia circular (CE) cresceu em importância entre os grupos acadêmicos, de formulação de políticas e da indústria. Os últimos desenvolvimentos no campo da CE incluíram a

			Vol.11(11). https://doi.org/10.3390/en11113009	Turner, Christopher; Tiwari, Ashutosh	interrogação da CE como um paradigma e sua relação com a sustentabilidade e outros conceitos, incluindo definições iterativas.
39	Revisão simples e construção da matriz ReSOLVE	2018	Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations, <i>Annals of Operations Research</i> , 2018, Vol.270(1), pp.273-286. https://doi.org/10.1007/s10479-016-2304-3 .	Lopes de Sousa Jabbour, Ana; Jabbour, Charbel; Godinho Filho, Moacir; Roubaud, David	Este trabalho defende a integração dos tópicos cada vez mais populares e amplamente separados da Indústria 4.0 e da economia circular (CE). O artigo estende a literatura de ponta, propondo um roteiro pioneiro para aprimorar a aplicação dos princípios de CE em organizações por meio de abordagens da Indústria 4.0.