

## Capítulo

# 3

## **Big Data e Tecnologias Digitais Aplicadas à Economia Circular: Oportunidades para Cadeias Produtivas mais Sustentáveis**

Rosângela de Fátima Pereira Marquesone, Francisco Pereira Junior, Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho

### *Abstract*

*Several environmental, economic and social challenges are currently being identified, requiring sustainable approaches that enable the preservation of the ecosystem and promote current and future well-being of society. Given this scenario, the circular economy proposal has been considered a potential resource to achieve such goals, generating changes in the production and consumption of products, from business models based on principles of ecodesign, reduction, recovery, reuse and recycling of products. However, it is identified that such business models must be supported by data-driven solutions and digital technologies, to be scalable, facilitate collaboration, and promote greater awareness. Therefore, this course has as main objective to show how big data and digital technologies, such as the internet of things, cloud computing and blockchain, play a key role in the transition to the circular economy, pointing out characteristics of these solutions and how they meet the needs of business models in the context of the circular economy, thus being able to contribute to the current sustainability challenges.*

### *Resumo*

*Diversos desafios de cunho ambiental, econômico e social têm sido identificados atualmente, necessitando de abordagens sustentáveis que possibilitem a preservação do ecossistema e promovam o bem estar atual e futuro da sociedade. Diante desse cenário, a proposta de economia circular tem sido considerada um recurso potencial para se alcançar tais objetivos, gerando mudanças na produção e no consumo de produtos, a partir de modelos de negócios baseados em princípios de ecodesign, redução, recuperação, reuso e reciclagem de produtos. Entretanto, identifica-se que tais modelos de negócios devem ser apoiados por soluções orientadas a dados e tecnologias digitais para serem escaláveis,*

*facilitarem a colaboração e promoverem maior conscientização. Dessa forma, esse curso tem como principal objetivo mostrar como big data e as tecnologias digitais, tais como internet das coisas, computação em nuvem e blockchain, desempenham um papel chave na transição para a economia circular; identificando-se características dessas soluções e como essas atendem às necessidades de modelos de negócio no contexto de economia circular, podendo assim contribuir para os desafios atuais de sustentabilidade.*

### **3.1. Introdução**

Nos últimos anos têm sido cada vez mais perceptível os efeitos decorrentes da mudança climática. Um dado que mostra o quanto essa situação é alarmante é apresentado pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC*), relatando que, em 2018, o uso dos recursos naturais ocorreu 1,7 vezes mais rápido do que a capacidade do ecossistema se regenerar [UNFCCC 2018]. Nessa circunstância, existe uma preocupação global de que, caso o padrão persista, em 2030 será necessário o equivalente a aproximadamente três planetas para prover os recursos naturais, considerando as estimativas de crescimento populacional [ONU 2021a]. Em adição, o sexto relatório de avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change Sixth Assessment Report - IPCC*) apresentou informações alarmantes sobre os efeitos da mudança climática no planeta, afirmando que o aumento dos gases de efeito estufa atmosféricos são inequivocamente causados por atividades humanas [IPCC 2021]. Diante de tais cenários, as iniciativas de produção e consumo sustentáveis têm sido consideradas urgentes e desafiadoras, para preservar os recursos naturais e reduzir as consequências para a humanidade.

Uma alternativa que tem sido considerada promissora para tornar a produção e o consumo mais sustentáveis é a economia circular [EMF 2015, Kirchherr et al. 2017, Gupta et al. 2019]. Diferente da economia linear, que se caracteriza pela contínua extração de matérias-primas e a geração de resíduos quando o produto gerado chega ao seu fim de vida, a economia circular tem como objetivo um sistema de produção e consumo que considere não somente o crescimento econômico, mas também a preservação ambiental e o bem-estar social [Kirchherr et al. 2017]. Dessa forma, empresas que buscam ser mais sustentáveis estão adotando como estratégia a transição para a economia circular.

Nesse contexto, identifica-se, também, que nos últimos anos têm ocorrido um crescente avanço em termos de soluções orientadas a dados e da adoção de tecnologias digitais, ocasionando mudanças significativas nas estratégias de negócios, na maneira com que nos socializamos e na cultura organizacional [Lee 2017, Martínez-Caro et al. 2020]. A partir de tecnologias de big data, bem como outras tecnologias digitais como blockchain e computação em nuvem, empresas e setores industriais identificam a necessidade de se adaptarem a esse novo cenário, utilizando os dados e as inovações tecnológicas como instrumentos chave para o aperfeiçoamento de suas estratégias. Entretanto, embora big data e tecnologias digitais já sejam adotadas por empresas para atender determinados objetivos como estratégias de *marketing*, otimização de processos e melhoria da experiência do cliente, ainda não é claro na literatura como essas podem contribuir na transição para a economia circular [Gupta et al. 2019, Khan et al. 2022]. Dada essas circunstâncias, nesse trabalho é apresentado um estudo sobre como big data e tecnologias digitais

podem ser utilizadas como elementos chave para a obtenção de cadeias produtivas mais sustentáveis, a partir de estratégias de economia circular. Espera-se, a partir desse estudo, realizar uma aproximação entre os temas big data, tecnologias digitais e economia circular, identificando como profissionais dessas áreas podem contribuir colaborativamente na busca por soluções sustentáveis.

Para atender a esse objetivo, na Seção 3.2 é apresentada uma contextualização sobre sustentabilidade e economia circular, descrevendo-se seus conceitos e suas características. Na sequência, a Seção 3.3 contém uma investigação sobre a definição e as características de big data, além de uma descrição das tecnologias de big data existentes e as técnicas de big data analytics. Em complemento, na Seção 3.4, são relatados os fundamentos referentes a tecnologias digitais, com ênfase nas características de algumas dessas tecnologias. Após a contextualização desses termos, na Seção 3.5 é apresentada uma investigação sobre a aplicação de big data e tecnologias digitais na transição para a economia circular, identificando-se estratégias que podem contribuir para o sucesso nessa transição. A partir desse contexto, na Seção 3.6 é apresentado como essa adoção se aplica a uma indústria específica, a indústria têxtil, uma vez que essa apresenta diversos desafios de sustentabilidade ao longo de sua cadeia produtiva. Por fim, a Seção 3.7 contém as considerações finais. A Figura 3.1 apresenta uma ilustração do relacionamento entre os conteúdos abordados.

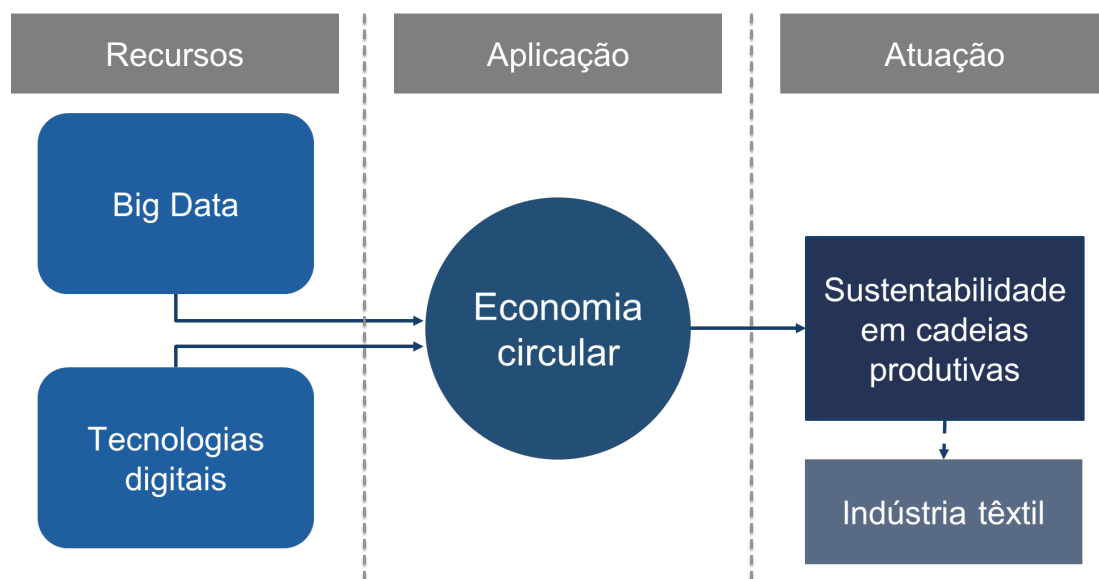


Figura 3.1. Estrutura do conteúdo

### 3.2. Sustentabilidade e Economia Circular

Essa seção aborda o conceito de sustentabilidade, descrevendo, também, os pilares que o regem. Em complemento, é relatado como as Organizações das Nações Unidas (ONU) propõem uma agenda global para objetivos de desenvolvimento sustentável. Por fim, essa seção contém informações referentes à economia circular, uma vez que ela tem sido considerada um recurso chave para se alcançar a sustentabilidade nos modos de produção e consumo.

### 3.2.1. Definição e Pilares de Sustentabilidade

Dentre os marcos históricos significativos referentes ao tema sustentabilidade, pode-se citar a introdução do termo “desenvolvimento sustentável”, apresentado em 1972, na Conferência das Nações Unidas sobre o Homem e o Meio Ambiente. Esse conceito foi descrito posteriormente no relatório da Comissão Brundtland, gerando o livro intitulado “Nosso Futuro Comum” [Brundtland 1987]. Nesse relatório, desenvolvimento sustentável foi descrito como aquele que “atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem suas próprias necessidades”. Essa definição enfatizou que sustentabilidade refere-se a um desafio global, tornando-se necessário avaliar e reconhecer os limites do crescimento e avaliando-se seu impacto ambiental e social, de forma a considerar não somente os efeitos atuais, como também para as próximas gerações [Rogers and Hudson 2011].

Desde a publicação do relatório de Brundtland, novas discussões e propostas de definição sobre o tema sustentabilidade foram sendo apresentadas na literatura. Nesse contexto, surgiu, também, a proposta de um *framework* contendo os pilares de sustentabilidade: econômico, ambiental e social, conhecido como Tripé da Sustentabilidade ou *Triple Bottom Line* (TBL) [Elkington 1997]. Nesse *framework*, o desenvolvimento sustentável é visto como aquele que avança de forma simultânea na prosperidade econômica, na preservação do meio ambiente e na equidade social.

Nos últimos anos, além do TBL, novos *frameworks* e estratégias foram sendo propostos, com foco em sustentabilidade. O Global Reporting Initiative (GRI), por exemplo, contribui, desde 1997, com a proposta de diretrizes e indicadores para que empresas construam e divulguem, de forma voluntária, relatórios de sustentabilidade, apresentando um relato dos impactos ambientais e sociais causados em suas práticas [GRI 2021]. Atualmente, essas diretrizes têm sido utilizadas como modelo pelas empresas para a geração de relatórios voluntários de Responsabilidade Social Corporativa (*Corporate Social Responsibility* - CSR) [Fuente et al. 2017].

Recentemente, uma outra iniciativa proposta em relação à sustentabilidade é o conjunto de práticas e padrões *Environment, Social and corporate Governance* (ESG), referente a questões ambientais, sociais e de governança corporativa. Alguns pesquisadores argumentam que as métricas e as práticas presentes no ESG são mais relevantes que o TBL, pois justificam que TBL tem como principal foco o desempenho financeiro [Ferrell 2021].

### 3.2.2. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Além dos pilares da sustentabilidade apresentados, diversos movimentos têm ocorrido em esfera global, com o objetivo de discutir e fornecer soluções estratégicas para reverter situações alarmantes. Um movimento significativo nesse contexto são os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos pela ONU em setembro de 2015, como uma agenda global para a promoção da prosperidade humana, respeitando o planeta [ONU 2021b]. O plano de ação, intitulado "Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável", é composto por 17 ODS, delineando 169 metas específicas, abrangendo aspectos da sustentabilidade em níveis distintos, tais como erradicar a pobreza, reduzir desigualdades e melhorar a educação, conforme ilustrado na Figura 3.2.



**Figura 3.2. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) [ONU 2021b]**

Em [Kostoska and Kocarev 2019], os autores propõem uma organização dos ODS em relação aos pilares de sustentabilidade, identificando como esses estão interligados. Um exemplo dessa organização pode ser visualizado na Figura 3.3. Identifica-se, assim, que o tema sustentabilidade é discutido em diferentes perspectivas. Por exemplo, um ODS específico é o “ODS 12 - Consumo e produção responsáveis”, focado, em resumo, na promoção do crescimento econômico sem degradação ambiental, aumentando a eficiência dos recursos e proporcionando estilos de vida sustentáveis [ONU 2021a]. Dessa forma, o objetivo de se obter cadeias produtivas mais sustentáveis está diretamente relacionado a esse ODS. Entretanto, os resultados de soluções focadas nesse objetivo também podem se relacionar a outros, direta ou indiretamente, como por exemplo, ao ODS 13, referente à ação contra a mudança global do clima.



**Figura 3.3. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Adaptado de [Kostoska and Kocarev 2019]**

### 3.2.3. O Conceito de Economia Circular

Embora a busca pelo desenvolvimento sustentável esteja atualmente em evidência, ainda é considerado um desafio para empresas e indústrias identificarem como reconfigurar suas estratégias e proposta de valor para alcançar esse objetivo. Com a proposta de ser uma alternativa ao modelo linear, atualmente predominante no processo industrial, a economia circular tem sido identificada como uma solução promissora para o desenvolvimento sustentável [Geissdoerfer et al. 2018].

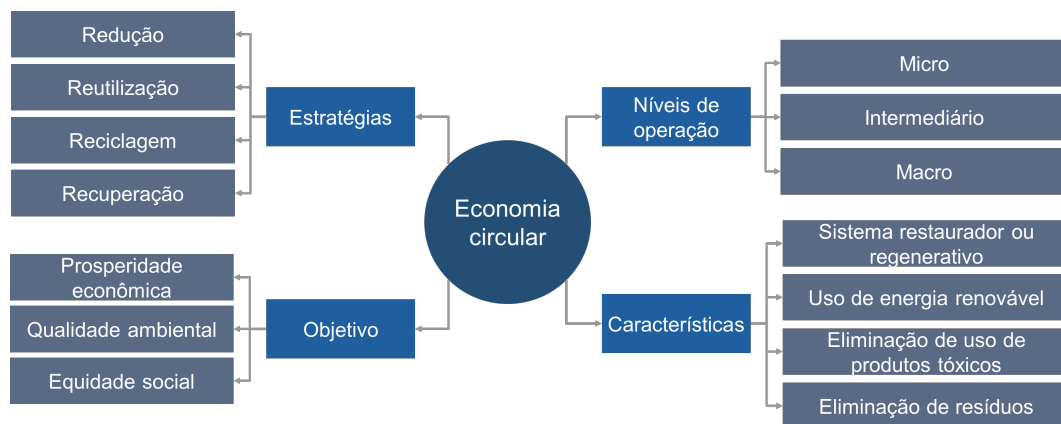
Economia circular é considerado um conceito “guarda-chuva”, por incorporar em sua base diferentes escolas de pensamento, tais como ecologia industrial [Graedel 1996], *cradle-to-cradle* [McDonough and Braungart 2010] e biomimética [Benyus 1997]. Embora não seja um conceito recente, foi somente na última década que o termo obteve maior visibilidade, sendo creditada sua popularização à Fundação Ellen MacArthur, que ampliou as discussões sobre o tema. Em um relatório de 2012, desenvolvido pela fundação, economia circular foi definido como “um sistema industrial restaurador ou regenerativo por intenção ou *design*. Substitui o conceito de fim de vida por restauração, faz uso de energia renovável, elimina o uso de produtos químicos tóxicos que prejudicam a reutilização e visa a eliminação de resíduos por meio do *design* superior de materiais, produtos, sistemas, e dentro disso, modelos de negócios” [EMF 2012]. Observa-se, nessa definição, que a proposta de economia circular é abrangente, visando um novo paradigma de produção e consumo, a partir de um conjunto de iniciativas.

Embora a definição da Fundação Ellen MacArthur tenha sido a que trouxe maior popularidade ao termo, outras definições também são encontradas na literatura, em relação à compreensão de economia circular. A partir de uma investigação na literatura realizada por Kirchherr, Reike e Hekkert, em 2017, foram identificadas 114 diferentes definições sobre o termo, sendo a maioria derivadas da definição feita pela fundação [Kirchherr et al. 2017]. A partir desse estudo, os autores identificaram que economia circular faz referência a um sistema econômico baseado em modelos de negócios que substituem o conceito de fim de vida por redução e alternativamente por reutilização, reciclagem e recuperação de materiais em processos de produção/distribuição e consumo. Também acrescentam nessa definição o fato da economia circular ser aplicada em diferentes níveis operacionais, mencionando que ela opera nos níveis micro (e.g., empresas), intermediário (e.g., parques industriais) e no nível macro (e.g., cidades), com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável, criando ao mesmo tempo qualidade ambiental, prosperidade econômica e equidade social, para benefício das gerações atual e futuras [Kirchherr et al. 2017]. A Figura 3.4 contém um resumo dos principais fatores apresentados nas definições apresentadas.

### 3.2.4. Características da Economia Circular

É possível identificar, a partir dos conceitos apresentados, que a economia circular não tem como proposta lidar somente com o final de vida de produtos e materiais, por meio de estratégias como reciclagem, por exemplo. Sua proposta vai além, visando uma mudança de paradigma que abrange todo o ciclo de vida do produto, iniciando pelo *design*, uma vez que é a partir dessa etapa que as decisões tomadas poderão impactar as etapas seguintes, incluindo o uso e o pós-uso. Nesse contexto, as seguintes características podem

ser observadas, em relação à economia circular:



**Figura 3.4. Fatores referentes à definição de economia circular**

- **Visão sistêmica e holística.** A proposta de economia circular identifica a necessidade de que as decisões referentes ao processo da cadeia produtiva, incluindo todo o ciclo de vida de um produto, sejam tomadas a partir de uma visão sistêmica e holística. Ou seja, em cada etapa, decisões como a escolha dos materiais e do processo envolvido devem ser feitas a partir de uma abordagem que avalie o contexto em sua totalidade, compreendendo a importância e a interligação entre cada parte do sistema. Essa abordagem permite compreender, por exemplo, como uma decisão realizada na etapa de produção, pode trazer impactos ambientais negativos quando o produto estiver em seu fim de vida [EMF 2015]. Nesse contexto, a visão holística também compreende a necessidade de se avaliar o sistema a partir das três dimensões, econômica, ambiental e social.
- **Prolongamento do uso de um produto.** A economia circular busca estender o valor em cada estágio do ciclo de vida do produto, incluindo a fase final, aumentando assim a durabilidade desse, bem como possibilitando maior intensividade de seu uso [Liu et al. 2021]. Como consequência, essa extensão também visa a redução de material e de energia, por maximizar a utilização do produto.
- **Redução do impacto ambiental.** Na economia circular existe a preocupação com o impacto ambiental, por isso o sistema é projetado com foco em minimizar a poluição, o consumo de energia e de água, e não gerar resíduos [Modgil et al. 2021]. Busca-se a maximização do uso de energias renováveis, e o *redesign* de produtos, com foco na redução de materiais e no uso de materiais biodegradáveis.
- **Sistema de circuito fechado.** Ao invés de considerar os recursos incessantes, a economia circular busca atuar em sistemas circulares ou em “circuito fechado” em seu processo produtivo, permitindo a redução do uso de recursos naturais e evitando a geração de resíduos [Brydges 2021]. Nessa abordagem holística, há uma tentativa de integração durante as atividades produtivas, onde o produto resultante de um nível é utilizado como insumo para o nível seguinte, mimetizando os ciclos da natureza [Gupta et al. 2019].

- Harmonia entre os pilares de sustentabilidade. Identifica-se, também, o fato de a economia circular incorporar os três pilares de desenvolvimento sustentável (econômico, ambiental e social). Há estudos que relatam que algumas estratégias tendem a focar somente na dimensão ambiental, não considerando os impactos sociais dessa aplicação [Geissdoerfer et al. 2017, Kirchherr et al. 2017]. Nesse caso, não se cumpriria com os objetivos da economia circular, caso não haja uma harmonia entre as dimensões.

### 3.2.5. Estratégias de Circularidade

Conforme apresentado na definição de Kirchherr, Reike e Hekkert, a economia circular abrange estratégias voltadas à redução, reutilização, reciclagem e recuperação de materiais e produtos [Kirchherr et al. 2017]. Entretanto, na literatura identifica-se, também, a proposta dos 10 Rs, visando novas estratégias de circularidade e modelos de negócio que permitam atender aos objetivos da economia circular.

É possível visualizar na Tabela 3.1 que essas estratégias são divididas em três grupos. O primeiro refere-se ao uso e à fabricação inteligente do produto, por meio de estratégias para recusar, repensar e reduzir o uso de materiais em sua produção. O segundo grupo refere-se ao prolongamento da vida útil do produto e de suas peças, por meio de estratégias como a reutilização, reparação, reforma, remanufatura e reaproveitamento dos produtos. Por fim, o terceiro grupo refere-se a aplicações úteis de materiais, envolvendo estratégias de reciclagem e de recuperação do material, por meio da geração de energia, por exemplo.

**Tabela 3.1. Estratégias da economia circular.**

| Grupo   | Categoria          | Significado  |
|---|--------------------|--|
| Uso e fabricação inteligentes do produto      | R0 - Recusar       | Reutilização de um produto, dando a ele uma nova função, ou provendo a mesma função, entretanto com um produto radicalmente diferente. |
|   | R1 - Repensar      | Intensificação do uso do produto (e.g., compartilhando produtos ou colocando produtos multifuncionais no mercado).                     |
|   | R2 - Reduzir       | Aumento da eficiência na fabricação ou no uso do produto, consumindo assim menos recursos naturais.                                    |
| Prolongar a vida útil do produto e suas peças | R3 - Reutilizar    | Reutilização do produto descartado ainda em boas condições e que cumpre sua função original.   |
|   | R4 - Reparar       | Reparação e manutenção de produto com defeito para ser usado com sua função original.  |
|   | R5 - Reformar      | Restauração e atualização de um produto antigo.  |
|   | R6 - Remanufaturar | Uso de partes do produto descartado em um novo produto com a mesma função.   |
|   | R7 - Reaproveitar  | Uso de produtos descartados ou suas partes em um novo produto com uma função diferente.  |
| Aplicações úteis de materiais                 | R8 - Reciclar      | Processamento de materiais para obter a mesma qualidade (maior ou menor grau).   |
|   | R9 - Recuperar     | Incineração de material com recuperação de energia.  |

Fonte: Adaptado de [Potting et al. 2017].

As estratégias são apresentadas e sugeridas para que sejam aplicadas nessa ordem, sendo consideradas as primeiras mais efetivas e as últimas as menos efetivas, uma vez



que o processo de reciclagem e de recuperação, por exemplo, exigem atividades mais complexas, que podem gerar mais consumo de recursos naturais [Potting et al. 2017]. Observa-se, também, que tais estratégias podem ser incorporadas tanto por empresas, quanto pelos consumidores, contribuindo para que a produção e o consumo ocorram de forma consciente e colaborativa. Há, portanto, o compartilhamento de responsabilidades para que as estratégias sejam implementadas de forma efetiva. Ressalta-se também que, para a implantação efetiva da economia circular, há a necessidade de colaboração de todos os *stakeholders*, tais como produtores, fabricantes, fornecedores, varejistas, consumidores e governantes, uma vez que é necessária uma mudança do *status quo* dos hábitos de produção e de consumo. Somente com a soma das partes é que a sustentabilidade pode ser alcançada. Por exemplo, uma empresa que adote uma estratégia de circularidade necessita da colaboração de seus consumidores, para que esses tenham hábitos de consumo também sustentáveis. Além disso, governantes e formuladores de política desempenham um papel essencial nessa transição, criando políticas e regulamentos que estimulem e favoreçam a adoção de economia circular.

Além dos 10 Rs apresentados, há na literatura a proposta do *framework* ReSOLVE, desenvolvido pela Fundação Ellen MacArthur, com foco em também contribuir com estratégias no contexto de economia circular [EMF 2015]. Conforme apresentado na Tabela 3.2, nesse *framework*, as estratégias são divididas nas categorias regenerar, compartilhar, otimizar, criar ciclos, virtualizar e trocar. Percebe-se, nessa proposta, uma consonância com os 10 Rs anteriores, identificando que a reciclagem, novamente, não é considerada a única alternativa para prover a circularidade e atender aos objetivos de sustentabilidade.

**Tabela 3.2. Framework ReSOLVE.**

| <b>Estratégia</b>                    | <b>Descrição</b>  |
|--------------------------------------|---|
| Regenerar<br>( <i>Regenerate</i> )   | Refere-se a estratégias que visam a adoção de energia e materiais renováveis. Também incorpora meios que possibilitam a retenção e a regeneração da saúde da biosfera. Tem-se, como exemplo, o processo de compostagem, realizado a partir de ciclos biológicos.          |
| Compartilhar<br>( <i>Share</i> )     | Modelos de negócios voltados à economia compartilhada e ao prolongamento do uso dos produtos. Tem-se, como exemplo, o serviço de compartilhamento de carros, bibliotecas e serviços de aluguel de roupas.   |
| Otimizar<br>( <i>Optimize</i> )      | Adoção de tecnologias que promovam maior desempenho das organizações nas estratégias circulares, possibilitando, por exemplo, aumentar a eficiência de produtos e reduzir a geração de resíduos.  |
| Criar ciclos<br>( <i>Loop</i> )      | Estratégias para eliminar a geração de resíduos e convertê-los em recursos, por meio de ciclos técnicos e biológicos. Exemplos incluem a reciclagem e a remanufatura de produtos.   |
| Virtualizar<br>( <i>Virtualize</i> ) | Estratégias voltadas à troca de produtos físicos por produtos virtuais e pela prestação de serviços, evitando assim a extração de recursos e a geração de resíduos. Como exemplo, tem-se o serviço de <i>streaming</i> de músicas, evitando a produção de mídias físicas. |
| Trocar<br>( <i>Exchange</i> )        | Estratégias que possibilitam a troca de itens antigos e não renováveis por novos itens, baseados em tecnologias avançadas e materiais renováveis. Exemplos incluem a fabricação de peças a partir da impressão 3D.  |

Fonte: Adaptado de [EMF 2015]

### 3.3. Big Data

Os avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas trouxeram mudanças significativas em toda a sociedade. Fatores como a ascensão das redes sociais, a evolução das tecnologias móveis e o crescente número de serviços disponíveis na Internet possibilitaram novos meios de comunicação, novas formas de trabalho e novos modelos de negócios. Conseqüentemente, tais avanços tecnológicos resultaram em um crescente volume de dados gerados por pessoas e por máquinas, a partir de fontes e formatos variados [Gandomi and Haider 2015]. Nesse contexto, empresas passaram a adotar os dados em sua estratégia, identificando meios para lidar com o conceito de big data, aprimorando suas percepções e aperfeiçoando o processo de tomada de decisão [Lee 2017]. Mais recentemente, as tecnologias de big data também estão sendo adotadas para a geração de soluções orientadas a dados para o contexto de sustentabilidade. Dessa forma, essa seção apresenta detalhes sobre a definição, as características, as tecnologias e as técnicas existentes em big data.

#### 3.3.1. Definição de Big Data

A base para a definição do termo big data é creditada à Doug Laney, em 2001, a partir da publicação de um *white paper*, onde o autor apresenta os desafios de gerenciamento de dados, considerando as dimensões de volume, variedade e velocidade de dados [Laney et al. 2001]. Desde então, esses desafios ficaram conhecidos como os “Vs” de big data, sendo adicionadas outras dimensões com o passar do tempo, tais como o valor e a veracidade dos dados.

Seguindo essa abordagem, uma das definições adotadas para big data é aquela dada pela empresa de consultoria Gartner, na qual descreve big data como sendo “ativos de informações de grande volume, variedade e velocidade que demandam formas inovadoras e rentáveis de processamento da informação, para melhor percepção e tomada de decisão” [Gandomi and Haider 2015, Gartner 2022]. Ou seja, nessa definição é possível identificar que a adoção de big data oferece a empresas públicas e privadas tanto oportunidades e desafios a partir de uma abordagem orientada a dados, que, embora necessite de mudanças, como a adoção de uma infraestrutura que permita lidar com o volume, variedade e velocidade dos dados, pode gerar valor por meio de novas percepções e uma tomada de decisão otimizada.

#### 3.3.2. Os Vs de Big Data

Para compreender melhor os desafios e as oportunidades referentes a big data, apresenta-se, a seguir, uma descrição dos principais Vs que circundam esse conceito.

O **volume** refere-se à quantidade sem precedentes de dados gerados nas últimas duas décadas. Estima-se que, a cada 2 ou 3 anos, a humanidade torna-se capaz de armazenar mais dados do que a quantidade armazenada desde o início da civilização [Hilbert 2022]. Quantidades massivas de dados, na ordem de terabytes e petabytes, passam a ser geradas a partir de diferentes fontes, sendo essas utilizadas pelas empresas, com foco no desenvolvimento de soluções e modelos de negócios orientados a dados e no aperfeiçoamento do processo de tomada de decisão [Marquesone 2016]. Embora esse aumento de volume trouxe benefícios para as empresas, que puderam compreender me-

lhor seus clientes, gerar modelos preditivos mais assertivos e compreender melhor um processo, tornou-se necessário um investimento em infraestrutura para possibilitar o armazenamento, o processamento e a análise de dados em larga escala.

Ao considerar o crescente volume de dados gerado e o crescente interesse das empresas em utilizar dados em suas estratégias de negócios, em [Mazzei and Noble 2019], os autores classificam o indivíduo (pessoa e dispositivo) como potenciais geradores de dados, e as empresas como processadoras de informação. Nesse contexto, por um lado, pessoas e dispositivos estão constantemente gerando dados a partir de tecnologias digitais e, por outro, as empresas estão investindo em formas inovadoras de transferir os dados para a criação de valor e desenvolver vantagem competitiva. Esse contexto gera o que se chama de “paradoxo da escolha”, que afirma que muita informação é tão problemática quanto pouca informação, no processo de tomada de decisão [Dong and Yang 2018].

A **variedade**, por sua vez, faz referência à ampla diversidade de dados obtidos atualmente, de fontes distintas, gerados por humanos e por máquinas, em formato estruturado e não estruturado [Marquesone 2016]. Por exemplo, dados gerados por humanos, contendo informações referentes ao sentimento e à propriedade intelectual de uma pessoa, são criados em diferentes contextos, tais como em redes sociais, na avaliação de um produto, bem como em serviços troca de mensagens. Dados gerados por máquinas são, também, originados de fontes variadas, tais como em sensores no contexto de IoT, em registros de *log* em servidores da Web, em agentes conversacionais e em sistemas corporativos. Além do formato texto, tais dados podem, também, ser obtidos no formato de imagens, áudios e vídeos, necessitando assim de novas estratégias de armazenamento, processamento e análise de dados.

A **velocidade** pode ser compreendida a partir de duas vertentes. A primeira, refere-se à velocidade com que os dados estão sendo gerados, contribuindo também para o aumento do volume. A segunda vertente, e, sendo essa a mais desafiadora, refere-se à velocidade com que esses dados estão sendo capturados e utilizados no processo de tomada de decisão [Marquesone 2016]. Por exemplo, para lidar com os bilhões de dispositivos conectados que geram dados constantemente, novas soluções de *streaming* de dados vêm evoluindo, para estar em conformidade com a velocidade necessária para processar e analisar tais dados. Nesse contexto, surge a necessidade do investimento em tecnologias que possibilitem o processamento em tempo real ou próximo ao tempo real, para que empresas tenham a capacidade de atuar sobre os dados à medida que eles são gerados.

Na Figura 3.5 é apresentado um resumo dos Vs existentes em big data. Além dos 3 Vs iniciais, o **valor** dos dados é, também, uma dimensão amplamente considerada na literatura para a definição e compreensão de big data. Essa dimensão refere-se à identificação de quais dados devem ser considerados em um projeto ou em uma empresa, para assim produzir informações valiosas [Lee 2017]. Denota a necessidade de avaliar previamente os objetivos de um projeto orientado a dados, para assim identificar quais bases deverão ser utilizadas para a análise.

Em complemento, como big data tem um potencial cada vez maior nos negócios, a **veracidade** tornou-se um atributo importante a ser considerado. Esse atributo está relacionado à qualidade dos dados, revelando a importância de, mesmo com dados massivos,

definir políticas que permitam às organizações verificar a confiabilidade em termos de precisão, consistência, pontualidade e integridade dos dados [Lee 2017]. Nesse contexto, insere-se a expressão “*garbage in, garbage out*”, expressando que a entrada de dados incorretos/imprecisos resultará na saída de dados incorretos/imprecisos. Dessa forma, com a premissa da tomada de decisão baseada em dados, avaliar a veracidade dos dados é fundamental para evitar ações baseadas em dados imprecisos.

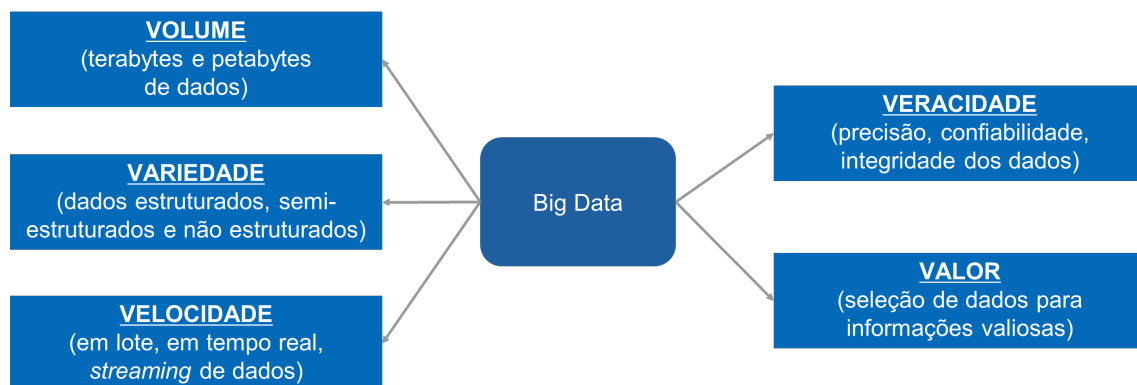


Figura 3.5. Os Vs de big data

Além dos Vs mencionados, outras dimensões foram sendo acrescentadas à definição de big data. Exemplos incluem a variabilidade, a validade e a versatilidade [Ranjan 2019, Khan et al. 2019]. Entretanto, tais dimensões ainda não foram amplamente discutidas no contexto de big data, havendo, assim, incertezas sobre suas compreensão.

### 3.3.3. Tecnologias de Big Data

Para atender aos requisitos que o volume, a variedade e a velocidade trouxeram aos projetos orientados a dados, novas técnicas e tecnologias foram sendo desenvolvidas conforme aumentava-se o interesse em soluções orientadas a dados. Nessa seção são apresentados exemplos dessas tecnologias, utilizadas nas diferentes etapas de um projeto de big data.

Em relação às tecnologias de big data para atender aos requisitos de armazenamento dos dados, uma tecnologia adotada no contexto de big data é a tecnologia NoSQL. O termo refere-se à “*Not only SQL*”, ou seja, descreve o surgimento de novas abordagens que vão além de somente o uso de bancos de dados relacionais, que utilizam *Structured Query Language* (SQL). Dessa forma, a tecnologia NoSQL faz menção a um conjunto de soluções de armazenamento voltado ao provimento de escalabilidade e disponibilidade dos dados, para atender às necessidades de dados em larga escala [Ramzan et al. 2019].

Em [Cattell 2011], o autor descreve seis propriedades em comum de soluções NoSQL:

1. A habilidade para escalar horizontalmente em ambientes de *cluster*.
2. A habilidade para prover a replicação dos dados nos servidores.
3. O uso de uma interface simples de acesso aos dados (em contraste ao uso de SQL de banco de dados relacionais);.

4. Um modelo de concorrência de dados menos rígido que a propriedade ACID dos bancos de dados relacionais.
5. O uso eficiente de índices para armazenamento dos dados.
6. A habilidade para adicionar dinamicamente novos atributos aos registros de dados.

Uma outra forma de categorizar as soluções existentes no contexto de tecnologias NoSQL é por meio do modelo de dados utilizado. Atualmente, as soluções existentes são divididas nas seguintes categorias: orientadas à chave-valor (e.g., Redis, Memcached); orientadas a documentos (e.g., MongoDB, CouchDB); orientadas a colunas (e.g., HBase, Cassandra) e; orientadas a grafos (e.g., Neo4J, AllegroGraph). As três primeiras compartilham uma estratégia similar, provendo o armazenamento dos dados a partir de um conjunto de chaves e valores específicos para cada chave. A última refere-se a uma estratégia de armazenamento de dados em que esses são organizados por meio de vértices e arestas, em um grafo.

Além do NoSQL, uma das soluções pioneiras em termos de tecnologias de big data é o Apache Hadoop, um *framework* de código aberto mantido pela Apache Software Foundation (ASF), com foco em prover mecanismos para o armazenamento e processamento distribuído de dados em larga escala. Seu lançamento oficial, em 2006, apresentava uma solução chamada Hadoop Distributed File System (HDFS), voltada ao armazenamento distribuído de grande volume de dados, oferecendo tolerância a falhas e abstração na distribuição de dados em um ambiente de *cluster*. Para o processamento dos dados, o Hadoop apresentava o MapReduce, possibilitando o processamento distribuído dos dados armazenados no HDFS [Goldman et al. 2012].

As funcionalidades e as capacidades oferecidas pelo Apache Hadoop passaram a ser amplamente adotadas por empresas, universidades e instituições de pesquisa, que necessitavam de um *framework* que atendesse aos requisitos decorrentes dos Vs de big data. Diante dessa aceitação, o código-fonte do Apache Hadoop passou a ser continuamente otimizado, surgindo novas contribuições, que resultaram em subprojetos, voltados à atender necessidades específicas em projetos de big data. Assim, atualmente há um ecossistema de soluções Hadoop, contendo um grande número de subprojetos, especializados, que atendem à demanda de uma empresa.

Na Figura 3.6 é apresentada uma evolução das soluções do ecossistema Hadoop geradas ao longo do tempo. Como exemplo, pode-se citar o subprojeto Apache Hive – voltado à provisão de uma solução de *data warehouse* para dados de larga escala; o subprojeto Apache Sqoop – com foco em possibilitar a importação e exportação de dados entre o Hadoop e uma solução de armazenamento de dados relacionais; o subprojeto Apache Ni-Fi – com foco em prover mecanismos para ingestão e fluxo de dados para o ambiente Hadoop. Além desses, cabe também citar o Apache Spark [Zaharia et al. 2016] – considerado uma evolução do MapReduce, provê um conjunto de mecanismos para o processamento de dados em larga escala, possibilitando o uso de diferentes modelos computacionais, além do processamento em lote, com o MapReduce. Oferece, também, mecanismos para o processamento de *streaming* de dados, com o Spark Streaming, o processamento de algoritmos de aprendizado de máquina, com o Spark MLlib, e, o processamento de grafos, com o Spark GraphX.

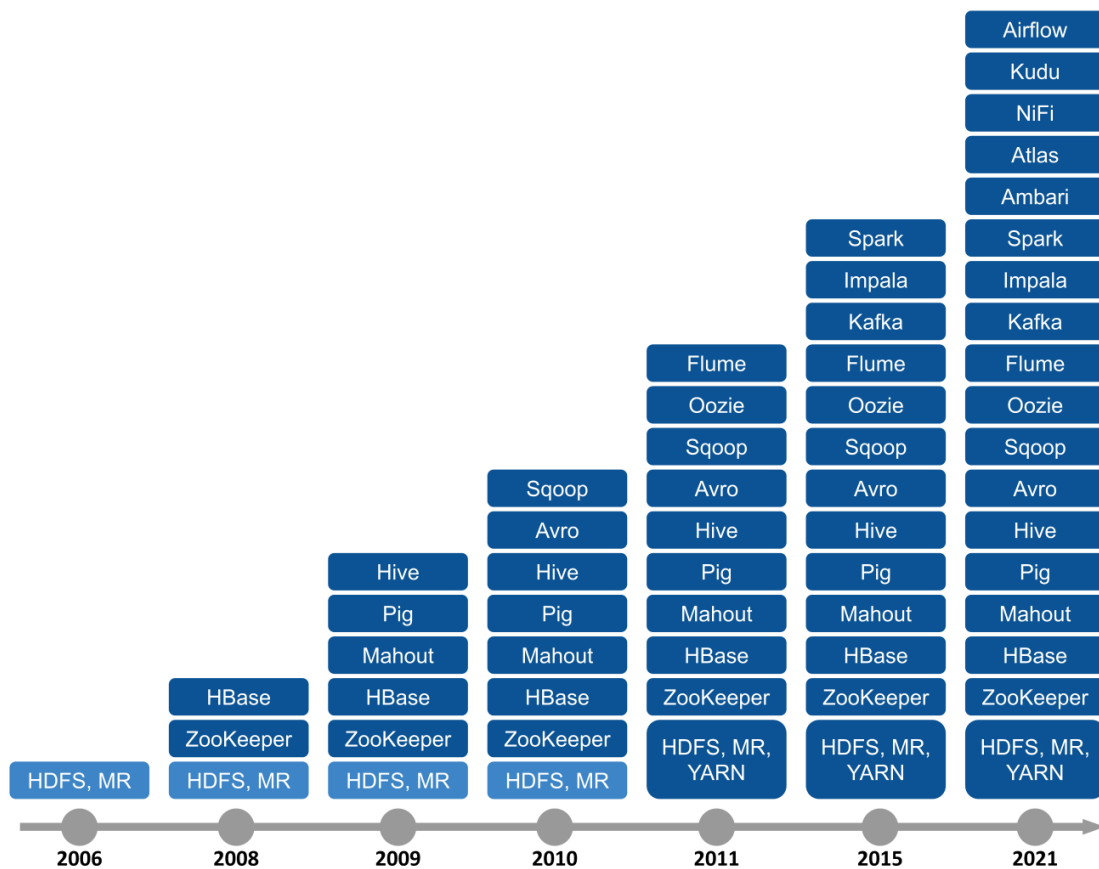


Figura 3.6. Soluções do ecossistema Hadoop. Adaptado de [Marquesone 2016]

Além das tecnologias apresentadas, destacam-se, também, aquelas referentes ao processamento de dados em tempo real, possibilitando extrair, processar e analisar dados conforme são gerados em um determinado evento. Nesse contexto, diversas soluções estão sendo utilizadas para esse fim. Um exemplo é o Apache Kafka – considerado atualmente uma plataforma de código aberto para *streaming* de dados, oferecendo mecanismos para a construção de *pipelines* distribuídos, captura e integração de dados e análise em tempo real dos dados. Além do Apache Kafka, exemplos de outras soluções para esse fim são: Apache Storm, Apache Flink e Amazon Kinesis.

É possível perceber, a partir de tais tecnologias, que a sua adoção trouxe tanto mudanças técnicas, quanto também mudanças organizacionais e culturais. A capacidade de extrair valor dos dados obtidos de diferentes fontes e formatos trouxe a necessidade de remoção de silos de dados, para assim serem analisados em uma visão integrada, aumentando a percepção de um determinado processo ou evento. Nesse contexto, surgiu também a proposta de um método de gerenciamento de dados denominado *data lake* [Sawadogo and Darmont 2021]. Além da proposta de remoção de silos de dados, integrando-os em um repositório comum à organização, a abordagem de *data lake* propõe o armazenamento dos dados em sua forma original, possibilitando que sejam armazenados sem a definição prévia de um *schema*. Nesse contexto, utiliza-se a abordagem

“*schema on read*”, no qual a estruturação dos dados é realizada de acordo com a necessidade de quem o utiliza, no momento de sua leitura.

### 3.3.4. Big Data Analytics

Além das tecnologias apresentadas, no contexto de big data insere-se, também, o termo big data analytics, uma área de estudo que contempla estratégias de análise de dados que considere o grande volume, variedade e velocidade de dados, visando a extração de valor. Conforme apresentado em [Mikalef et al. 2019], big data analytics pode ser compreendido como “uma nova geração de tecnologias e arquiteturas, projetadas para extrair valor econômico de volumes muito grandes de uma ampla variedade de dados, permitindo a captura, a descoberta e/ou a análise de alta velocidade”.

Ressalta-se, também, que big data analytics é considerado uma extensão dos seguintes termos: big data, analytics e *business intelligence* (BI). A partir desses três tópicos, big data analytics é composto pelo uso de tecnologias para gerenciar efetivamente grandes volumes de dados, melhorando as percepções de negócios a partir da análise de dados em larga escala [Côrte-Real et al. 2019]. Essa fusão resulta no uso de diversas técnicas, como estatística, mineração de dados, processamento de dados e gerenciamento de banco de dados.

Na literatura, as estratégias de big data analytics dividem-se em três categorias: a análise descritiva, a análise preditiva e a análise prescritiva. A seguir é apresentado um resumo sobre essas categorias.

- **Análise descritiva.** Tem como foco principal responder à pergunta: “o que aconteceu ou o que está acontecendo?”, provendo técnicas que permitem compreender um determinado processo, por meio da geração de métricas e indicadores. Nesse contexto, é comum a utilização de soluções de *business intelligence*, painéis de visualização de dados (*dashboards*) e a geração de relatório, possibilitando extrair métricas que possam auxiliar na compreensão e no monitoramento do desempenho de um determinado processo ou produto.
- **Análise preditiva.** Visa responder a questão: “o que irá acontecer?”, provendo mecanismos para que seja possível a realização de previsões sobre possíveis comportamentos futuros. Nesse contexto, é comum a utilização de técnicas estatísticas, de mineração de dados e de aprendizado de máquina, possibilitando gerar modelos preditivos a partir de dados históricos e atuais.
- **Análise prescritiva.** Considerada a mais complexa, visa responder a pergunta: “o que fazer para acontecer?” provendo técnicas voltadas à automação do processo de tomada de decisão, ou seja, voltado a tomada de decisão orientada a dados, sem a necessidade da intervenção humana, por meio de soluções em que o próprio sistema computacional seja capaz de prover um curso de ação para se alcançar um resultado desejado. Nesse contexto, é comum a adoção de técnicas de simulação, algoritmos de aprendizado de máquina e de *deep learning*.

A Figura 3.7 apresenta um resumo das categorias apresentadas, contendo exemplos de técnicas utilizadas e possíveis aplicações de negócios. Embora a análise descritiva

seja considerada a mais simples, entre as três apresentadas, sua aplicação é necessária para se obter os dados indispensáveis para as outras análises, a preditiva e a prescritiva. Além disso, mesmo nessa primeira categoria, percepções significativas podem ser obtidas, por meio do levantamento de métricas e de indicadores de um determinado processo.

Denota-se, nesse contexto, que a inovação tecnológica é um elemento-chave para o uso de big data analytics. Portanto, empresas que desejam automatizar o processo de tomada de decisão devem reformular sua infraestrutura, incluindo tecnologias de big data e ferramentas de analytics, capazes de suportar o volume massivo, a variedade de dados e a velocidade de análise de dados em tempo real. Essa mudança de infraestrutura é atualmente considerada um requisito, dado que ferramentas tradicionais de gerenciamento de dados não fornecem recursos em termos de alta escalabilidade, flexibilidade, armazenamento e processamento distribuído. Adicionalmente, um dos desafios existentes na extração de *insights* valiosos dos dados é a falta de talento humano com a habilidade necessária para lidar com dados estruturados e não estruturados, nos processos de extração, processamento e análise de dados [Härting et al. 2018]. Conforme afirmado por [Härting et al. 2018], sem uma equipe de dados adequada e com as habilidades certas, é impossível realizar uma estratégia de big data analytics.

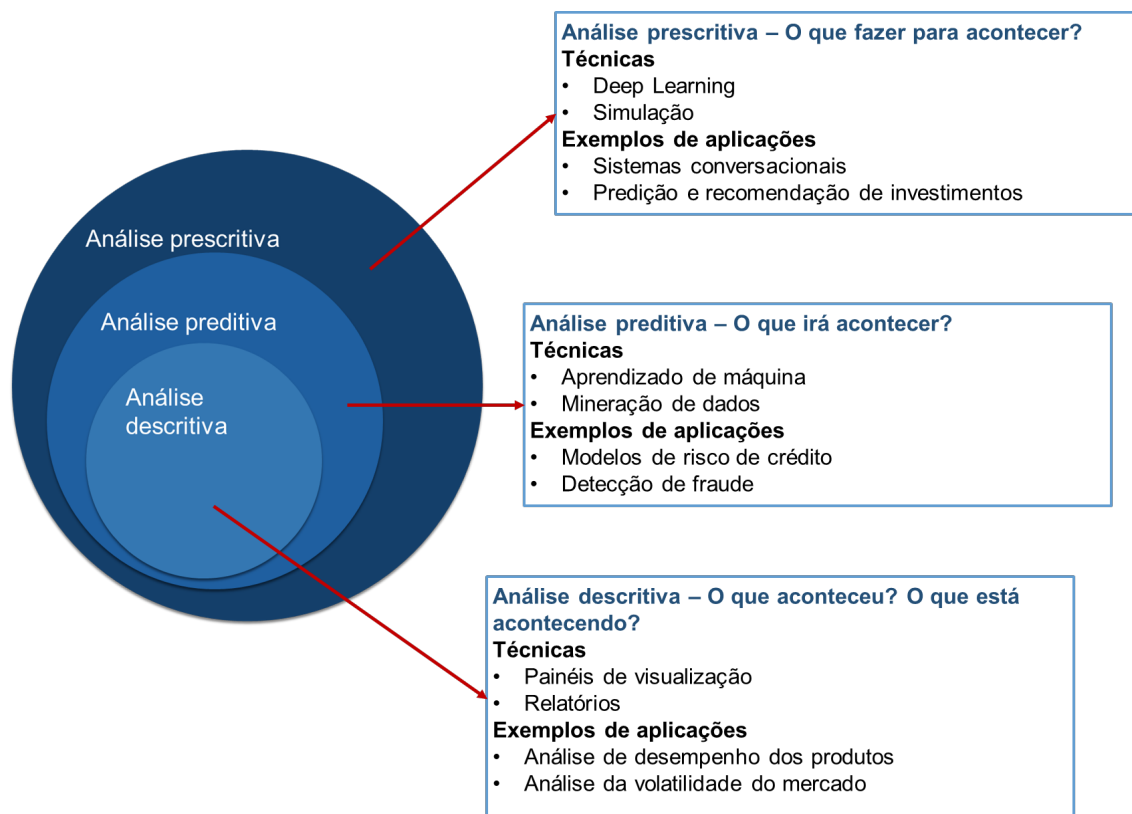


Figura 3.7. Categorias de big data analytics.

Por fim, observa-se que big data analytics oferece inúmeras oportunidades de inovação nas empresas. No entanto, é necessário, também, um claro entendimento dos executivos tanto sobre big data quanto sobre o objetivo para essa adoção. Somente com essa mentalidade é possível escolher as técnicas e as tecnologias adequadas e alinhadas às



estratégias de negócios [Lehrer et al. 2018].

### 3.4. Tecnologias Digitais

Além das tecnologias de big data existentes para lidar com o grande volume, variedade e velocidade de dados gerados atualmente, os últimos anos também foram marcados pela introdução de novas tecnologias digitais, gerando mudanças significativas na sociedade [Hilbert 2022]. A evolução dessas tecnologias culminaram na caracterização de um novo estágio da revolução industrial, denominado indústria 4.0. Diante desse cenário, as empresas estão identificando que tecnologias como computação em nuvem, Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), Blockchain e Inteligência Artificial (IA) possibilitam reformular modelos de negócios, oferecendo vantagens estratégicas [Martínez-Caro et al. 2020].

Nos últimos anos tem-se discutido, também, a importância de tecnologias digitais para o avanço na transição para a economia circular [Khan et al. 2022]. Portanto, essa seção apresenta uma contextualização sobre tecnologias digitais, descrevendo suas características, aplicações e benefícios.

#### 3.4.1. Computação em Nuvem

Ao abordar o tema "tecnologias digitais", uma das tecnologias amplamente adotadas nos últimos anos é a computação em nuvem. Esse termo foi formalmente definido em 2011 pelo órgão americano responsável pela padronização e métricas na área tecnológica chamado National Institute of Standards and Technology (NIST). Computação em nuvem é, então, compreendido como "um modelo que permite o acesso a um conjunto de recursos compartilhados e configuráveis como por exemplo, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços. Podem ser provisionados e liberados com o mínimo de esforço de gerenciamento e interação do provedor de serviços" [Liu et al. 2011].

Identifica-se, nessa definição, que a computação em nuvem proporciona recursos de processamento e armazenamento a partir de características como: a flexibilidade, no qual usuários da nuvem podem obter os recursos conforme a sua necessidade; o acesso via rede, possibilitando o acesso remoto aos recursos e serviços disponibilizados; o compartilhamento de recursos, possibilitando meios para compartilhar recursos computacionais com diferentes aplicações e usuários; e a elasticidade, possibilitando que a quantidade de recursos possa ser ampliada ou reduzida de forma automatizada. Tais características possibilitam que empresas reduzam seus custos operacionais e com a aquisição de hardware para seus *data centers* locais, mas obtenham acesso rápido e escalável aos recursos computacionais da nuvem, de acordo com a sua demanda.

Uma outra característica de computação em nuvem refere-se à divisão de responsabilidades entre o provedor e o usuário de nuvem. Uma das maneiras de identificar como ocorre essa divisão é por meio das três categorias de modelos de computação em nuvem [Liu et al. 2011]:

- Infraestrutura como Serviço (*Infrastructure as a Service* - IaaS): nesse modelo, o usuário de nuvem tem acesso aos recursos de infraestrutura, tais como de armazenamento, processamento e virtualização, possibilitando a execução de diferentes

aplicações e processos, mas com a responsabilidade de gerenciar a instalação e a configuração deles.

- Plataforma como Serviço (*Platform as a Service* - PaaS): além de ter acesso aos recursos computacionais, nesse modelo o provedor de nuvem disponibiliza recursos como ferramentas, bibliotecas e linguagens de programação. Dessa forma a responsabilidade do gerenciamento das aplicações é dividida com o usuário da nuvem.
- Software como serviço (*Software as a Service* - SaaS): nesse modelo, o gerenciamento da infraestrutura e das aplicações são de responsabilidade do provedor de nuvem, de forma que o usuário possua acesso às aplicações disponíveis, porém sem o poder de administrá-las ou modificá-las.

Os modelos de computação em nuvem apresentados podem ser disponibilizados em diferentes modelos de organização [Ahmad et al. 2021], tais como:

- Pública: modelo de organização na qual a infraestrutura de nuvem é fornecida para acesso a um público geral. Tem-se, como exemplos, a Amazon Web Services (AWS), a Microsoft Azure e o Google Cloud Platform (GCP), no qual cada nuvem é controlada e administrada por uma empresa específica.
- Privada: refere-se à infraestrutura de nuvem na qual o uso é restrito a uma organização. Como exemplo, pode-se citar uma nuvem de uma empresa específica, utilizada apenas pelos colaboradores internos desta empresa.
- Comunitária: faz referência a um modelo de organização no qual um grupo de usuários com interesse em comum compartilham os recursos da nuvem. Como exemplo, pode-se citar a nuvem de uma universidade pública, que oferece os recursos aos pesquisadores realizarem experimentos científicos.
- Híbrida: nesse modelo, uma combinação dos modelos anteriores é feita (pública, privada e comunitária), havendo uma interação entre elas, por meio de protocolos e de interfaces. Como exemplo, pode-se citar uma empresa que utiliza recursos de nuvem privada e de nuvem pública.

Apesar de diversos benefícios identificados em relação à adoção da computação em nuvem, alguns desafios e barreiras foram identificados e apontados na literatura. Fatores como custo, privacidade, *compliance*, controle e complexidade ainda são mencionados como impeditivos para que a adoção integral ocorra. Em adição, a questão de segurança dos dados e de aplicações hospedadas em ambientes de nuvem são consideradas, atualmente, as principais barreiras, necessitando de avanços nesse domínio [Ahmad et al. 2021].

Cabe destacar, também, o surgimento mais recentemente do termo *fog computing* [Dastjerdi and Buyya 2016]. Esse conceito é compreendido como uma proposta de arquitetura que visa oferecer recursos computacionais (e.g., processamento distribuído, armazenamento, rede) próximos à borda da rede, onde os dados são gerados pelos usuários. Essa abordagem possibilita reduzir a quantidade de dados trafegados pela rede,

atenuando, assim, alguns dos desafios existentes na adoção de modelos de computação em nuvem, como latência e capacidade de banda [De Donno et al. 2019].

### 3.4.2. Internet das Coisas

No cenário tradicional a Internet é composta por uma infraestrutura global de rede de computadores, na qual pessoas a utilizam para gerar, consumir e compartilhar informações. A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) pode, dessa forma, ser compreendida como um conceito que gerou uma mudança de paradigma da Internet [Li et al. 2015]. Nesse cenário, além dos computadores, demais objetos passam a fazer parte da infraestrutura global, gerando, consumindo e interagindo com outras pessoas e objetos, no mundo físico e virtual. Como exemplo desses objetos pode-se citar as etiquetas (*tags*) de identificação por radiofrequência (*Radio-Frequency Identification* - RFID), os sensores, atuadores e dispositivos móveis.

A heterogeneidade é uma das características predominantes em IoT. Como são utilizados diferentes objetos nesse contexto, tais como etiquetas RFID, sensores de temperatura, de movimento, sensores corporais e câmeras de rede sem fio, os dados gerados não são estruturados, contendo diferentes formatos [Jiang et al. 2014]. Cabe ressaltar que, além da heterogeneidade do formato dos dados, deve-se lidar também com uma ampla variedade de padrões de comunicação em que esses são transmitidos (ZigBee, WiFi, 6LowPan, etc.), bem como uma variedade na forma de interação (baseado em eventos, baseado em tempos, etc.).

No contexto de IoT há um grande número de objetos que coletam e transmitem dados por meio de diversos eventos ocorridos, resultando em uma grande expansão no volume de dados. Para suportar o gerenciamento e a análise do grande volume de dados gerados, é essencial a existência de um ambiente de alta escalabilidade. Soluções nas quais os objetos são tratados apenas como objetos periféricos, e os dados são transmitidos para uma entidade central tem limitações em termos de suporte a um grande número de objetos, e conseqüentemente, problemas de desempenho.

Objetos como sensores e atuadores existentes em aplicações de IoT são caracterizados normalmente como dispositivos com baixa capacidade, em termos de: processamento, memória, comunicação, armazenamento e energia. Por tal motivo, uma abordagem muito utilizada é transmitir os dados em sua forma original para uma entidade externa. Porém, como esses dispositivos também possuem limitações em termos de rede, uma solução mais adequada é ter um processo que permita a redução de dados, evitando sobrecarregar a rede. Além desse fator, a redução de dados em diferentes níveis em um cenário de IoT tem como objetivo auxiliar no processamento dos dados, pois busca diminuir a latência do processamento, que deve ocorrer em tempo real.

A computação em nuvem atua como um importante papel para tornar essas funcionalidades possíveis de serem implementadas, dado a necessidade de um sistema que seja escalável e distribuído. Entretanto, embora a adoção desse recurso ofereça maior disponibilidade dos serviços, sua utilização pode afetar o desempenho das aplicações, por aumentar a latência. Nesse contexto, soluções de *fog computing* têm sido exploradas para prover meios para atender ao desempenho das aplicações de IoT [De Donno et al. 2019].

### 3.4.3. Blockchain

Dentre as tecnologias digitais mencionadas nesse capítulo, a tecnologia blockchain é considerada uma das mais disruptivas, com potencial valor de sua aplicação. Embora seja associado muitas vezes somente ao contexto de criptomoedas, blockchain pode ser utilizado em inúmeras outras aplicações, conforme é apresentado nessa seção.

Atribui-se a Haber e Stornetta, a invenção da tecnologia blockchain, a partir da publicação de um artigo, em 1990, na qual é descrita uma técnica para lidar com a autenticação de documentos digitais, como áudio, texto e imagens [Haber and Stornetta 1990]. A proposta do artigo era apresentar uma técnica capaz de garantir que um documento digital não foi alterado, sem haver a necessidade de uma entidade central para prover essa garantia. Para isso, foram utilizados elementos que formavam um sistema de verificação de *timestamp*. Posteriormente, em 2008, essa tecnologia foi utilizada como um elemento chave para a estrutura do funcionamento da moeda Bitcoin, proposto pela pessoa até hoje desconhecida, de pseudônimo Satoshi Nakamoto [Nakamoto 2008].

Blockchain pode ser compreendido como um conjunto de blocos dispostos em uma lista de registros, em que o vínculo desses são criptografados, resistindo assim, à alteração de seus dados. Nesse contexto, cada bloco é composto por um valor *hash* criptografado do bloco anterior, um *timestamp* e os dados da transação. Além disso, os blocos existentes nessa cadeia são descentralizados e distribuídos, impedindo que um bloco consiga fazer uma alteração sem que afete retroativamente os blocos subsequentes [Rajasekaran et al. 2022]. A partir dessa abordagem, duas características principais podem ser observadas no blockchain:

- **Imutabilidade.** Um dos benefícios de se utilizar blockchain é por ser considerado quase impossível ser alterado os dados mantidos nos blocos. Isso ocorre pela exigência de que qualquer modificação seja realizada somente com um consenso da maioria dos nós da rede, tornando-a assim mais segura e transparente [Rajasekaran et al. 2022]. Dessa forma, existe a confiança de que os dados registrados não foram corrompidos e/ou modificados. Além disso, a imutabilidade também garante que, uma vez que um dado é registrado, ele é enviado para verificação e validação, não podendo ser excluído ou alterado sem que isso reflita nos demais nós [Deepa et al. 2022].
- **Descentralização.** Blockchain é compreendido como um livro-razão distribuído, no qual o gerenciamento das transações ocorre de maneira descentralizada, sem a necessidade de uma entidade central que faça o controle da rede. É essa capacidade de garantir a autenticidade das transações sem uma entidade centralizadora confiável que torna o blockchain uma tecnologia considerada disruptiva [Mattila 2016]. Para tornar isso possível de forma segura, são utilizados protocolos, criptografia e mecanismos de consenso para o registro e a validação dos dados. Essa característica pode resultar em benefícios como a redução de custos, maior transparência e aperfeiçoamento de processos operacionais [Deepa et al. 2022].

A partir dessas características, blockchain tem sido utilizado em diferentes áreas de negócio. A seguir são apresentados exemplos de como as empresas estão utilizando

essa tecnologia.

- Moedas digitais. Após o surgimento do bitcoin, novas criptomoedas surgiram no mercado, também utilizando blockchain para não necessitar de entidades centrais regulamentadoras. Essas moedas são consideradas inspiradas no bitcoin, e foram criadas com o foco na proposição de uma versão otimizada desta moeda. Como exemplo, pode-se citar: ZCach, Litecoin e Morero [Yuan and Wang 2018].
- Contratos inteligentes. A partir de blockchain pode-se obter *scripts* que permitem a criação de modelos de contratos personalizados, facilitando o seu gerenciamento, além de oferecer a segurança provida pelo blockchain. Como exemplo, pode-se citar a plataforma Ethereum, que possibilita a construção de aplicações descentralizadas.
- Gestão da cadeia de suprimentos. Empresas da área de cadeia de suprimentos estão utilizando a tecnologia blockchain para aperfeiçoar o processo de rastreamento de materiais e produtos ao longo da cadeia produtiva. Essa abordagem possibilita obter maior transparência do processo, aumentar a confiança entre os envolvidos em uma determinada operação, bem como garantir a procedência de um material ou produto [Mattila 2016]. Um exemplo é a utilização de blockchain na gestão de suprimentos da indústria alimentícia, possibilitando rastrear o alimento em suas diversas etapas, como o cultivo, a colheita e o transporte.

Apesar do potencial valor identificado na adoção de blockchain, alguns desafios são, também, apresentados na literatura. Um dos principais desafios refere-se à escalabilidade, uma vez que cada nó de uma rede blockchain armazena todos os dados históricos das transações realizadas [Lu 2019]. Entretanto, dado o crescente volume de transações e, conseqüentemente, o crescente volume de dados gerados em um sistema blockchain, torna-se necessário o investimento em pesquisas que possibilitem prover maior escalabilidade ao sistema, resolvendo, assim, questões referentes à alta taxa de latência, elevado consumo de energia e baixa taxa de transferência [Khan et al. 2021].

#### **3.4.4. Inteligência Artificial (IA)**

Dentre as tecnologias digitais apresentadas, uma que tem recebido cada vez mais destaque e sendo utilizada para aperfeiçoar e inovar diferentes domínios é a Inteligência Artificial (IA). Conforme define Russel e Norving, IA pode ser compreendido como o estudo e projeto de agentes inteligentes, em que esse agente é um sistema que percebe o seu ambiente e executa ações que maximizam suas chances de sucesso [Russel et al. 2013].

Atualmente um conjunto vasto de aplicações fazem uso de IA, nos mais diferentes domínios, tais como:

- Agentes conversacionais. Consiste em *chatbots* e assistentes conversacionais, voltados à comunicação entre humanos e plataformas computacionais, utilizando recursos de Processamento de Linguagem Natural (PLN), por voz e/ou por texto.

- Sistemas de reconhecimento facial. Solução que utiliza técnicas de visão computacional voltadas ao reconhecimento de pessoas a partir de imagens e vídeos. Tais sistemas são aplicados para diversos fins, tais como o desbloqueio de aparelhos, controle em ambientes restritos, autenticação para operações bancárias, entre outros.
- Veículos autônomos. Sistemas de controle computacional que possibilitam a condução de um veículo, sem a necessidade de um condutor humano. Para isso, são utilizados sensores com recursos de IA, voltados ao processamento de dados diversos, como imagens de câmeras e de radares.

Ao se considerar o tema de IA, insere-se também o de aprendizado de máquina. Esse conceito é compreendido como uma subárea de IA, com foco em possibilitar que sistemas computacionais sejam capazes de aprender de forma automatizada a partir de uma experiência, sem necessitar da programação explícita. Uma das possíveis maneiras de se categorizar os algoritmos existentes em aprendizado de máquina é por três categorias: aprendizado supervisionado, não supervisionado e aprendizado por reforço [Jo 2021]. Na Figura 3.8 são descritas as categorias existentes, bem como um conjunto de exemplos de seus algoritmos.

O aprendizado supervisionado pode ser compreendido como aquele em que o aprendizado é obtido a partir de um conjunto de dados rotulados. São normalmente utilizados para fins de classificação ou regressão. Na classificação, o algoritmo busca atribuir uma determinada classe a uma instância. Para isso, algoritmos de Redes Bayesianas, por exemplo, podem ser utilizados. Na regressão, tem-se como objetivo estimar um valor numérico contínuo para uma determinada instância, podendo ser utilizado, por exemplo, os algoritmos de regressão logística.

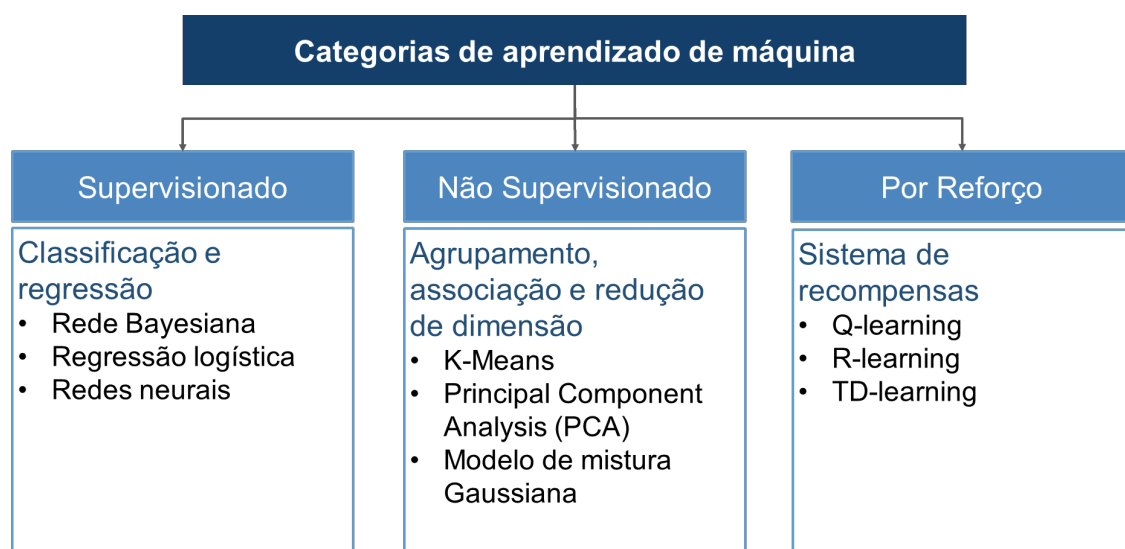


Figura 3.8. Categorias de aprendizado de máquina

O aprendizado não supervisionado possui esse nome por não necessitar de uma base de dados rotulada para o processo de aprendizado. Seu objetivo é agregar bases de

dados não rotuladas, criando grupos que compartilham características em comum, com base em uma métrica de similaridade [Rashidi et al. 2019]. Um exemplo é o uso do algoritmo K-Means para estratégias de agrupamento e o algoritmo de Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis - PCA*), caso o objetivo seja atuar na redução de dimensionalidades.

Por fim, o aprendizado por reforço refere-se a algoritmos no qual o treinamento é obtido a partir de um sistema no qual parâmetros são ajustados, visando maximizar recompensas e minimizar punições, a partir de uma interação entre um agente e um ambiente [Jo 2021]. Uma possibilidade, nessa categoria, é o uso do algoritmo Q-learning para fazer a modelagem de um agente.

Embora estudos teóricos sobre IA tenham sido realizados muito antes do cenário atual de digitalização, a quantidade massiva de dados gerados atualmente, somado ao crescente poder computacional dos servidores, impulsionou o avanço dessa área de estudo. Nesse contexto, pode-se citar a crescente adoção de algoritmos de aprendizado profundo (*deep learning*), uma área de aprendizado de máquina que utiliza redes neurais artificiais para a resolução de problemas. O principal elemento dos algoritmos de *deep learning* é sua eficiência na aplicabilidade de recursos de álgebra linear, apoiados nos últimos anos por processos de computação de CPU (*Central Processing Unit*) e GPU (*Graphics Processing Unit*). Nesse contexto, diversas ferramentas e bibliotecas tem sido disponibilizadas para esse fim, tais como Keras, TensorFlow e PyTorch.

Apesar dos avanços referentes às aplicações de IA nos últimos anos, um dos principais desafios enfrentados atualmente refere-se ao problema da IA explicável, uma vez que o processo de decisão dos algoritmos são comumente considerados uma “caixa-preta”, não sendo possível interpretar a lógica utilizada para o resultado apresentado. Dessa forma, essa área de estudo visa a identificação de métodos e processos que permitam a compreensão das saídas geradas por algoritmos de IA, podendo assim avaliar fatores como sua taxa de exatidão e possíveis erros que podem resultar em impactos negativos como imparcialidade e discriminação.

Além das tecnologias digitais apresentadas nessa seção, é importante salientar o fato de que outras tecnologias também fazem parte desse contexto, sendo utilizadas pelas empresas em suas estratégias de negócio, em iniciativas para transformação digital e adoção da indústria 4.0. Como exemplo, pode-se citar: tecnologias de realidade virtual e realidade aumentada, computação quântica e tecnologia 5G [Martínez-Caro et al. 2020]. Todas essas tecnologias digitais estão impactando não somente os negócios, mas também toda a sociedade. Baseia-se em mudanças profundas em todas as indústrias. Portanto, é um tema de interesse para diferentes áreas de estudo, como ciência da computação, administração de empresas, sistemas de informação e engenharia elétrica [Hausberg et al. 2018, Vial 2019].

Por fim, é possível analisar que a interação entre tecnologias digitais e big data pode ser vista em dois aspectos principais. Em primeiro lugar, as tecnologias digitais estão promovendo a geração crescente de dados. Dados gerados por humanos em serviços de mensagens, avaliação de produtos em plataformas de *e-commerce*, mídias sociais como Facebook e Twitter, bem como dados gerados por máquinas, como registros de *log* de servidores de computação em nuvem e sensores de IoT estão sendo criados em alta

velocidade, fornecendo informações de contextos internos e externos. Em segundo lugar, tecnologias de big data e técnicas de big data analytics têm fornecido mecanismos para melhorar o processo de tomada de decisões de negócios. Ao extrair percepções de diversos dados, as empresas são capazes de obter um melhor entendimento de seus clientes ou reduzir custos automatizando ou otimizando seus processos [Vial 2019].

### 3.5. Big Data e Tecnologias Digitais Aplicadas à Economia Circular

Embora existam empresas que já incorporam estratégias de economia circular em seus modelos de negócios, identificar como ela deve ser implantada ainda é considerado um desafio em aberto [Rani and Saha 2021]. A economia circular é considerada um novo paradigma, que requer mudanças em diversos aspectos, exigindo novas abordagens no *design* de produtos, mudança sistêmica na cadeia produtiva e mudanças no comportamento do consumidor em relação ao uso e descarte de um produto [EMF 2014]. Diante do exposto, identifica-se que a transição para a economia circular necessita de educação e conscientização de produtores e consumidores, bem como de modelos de negócios inovadores, que incorporem a sustentabilidade com a proposição de valor [Barros et al. 2020]. Nesse contexto, big data e tecnologias digitais são identificadas como recursos-chave para promover essa transição.

Após apresentada uma contextualização sobre big data e tecnologias digitais, esta seção tem como objetivo descrever como a transição para a economia circular, visando cadeias produtivas mais sustentáveis, podem se apoiar com o uso dessas tecnologias. Para isso, conforme ilustrado na Figura 3.9, a descrição será apresentada a partir de abordagens voltadas aos seguintes aspectos: colaboração; transparência e rastreabilidade; compreensão e tomada de decisão; monitoramento e previsão.

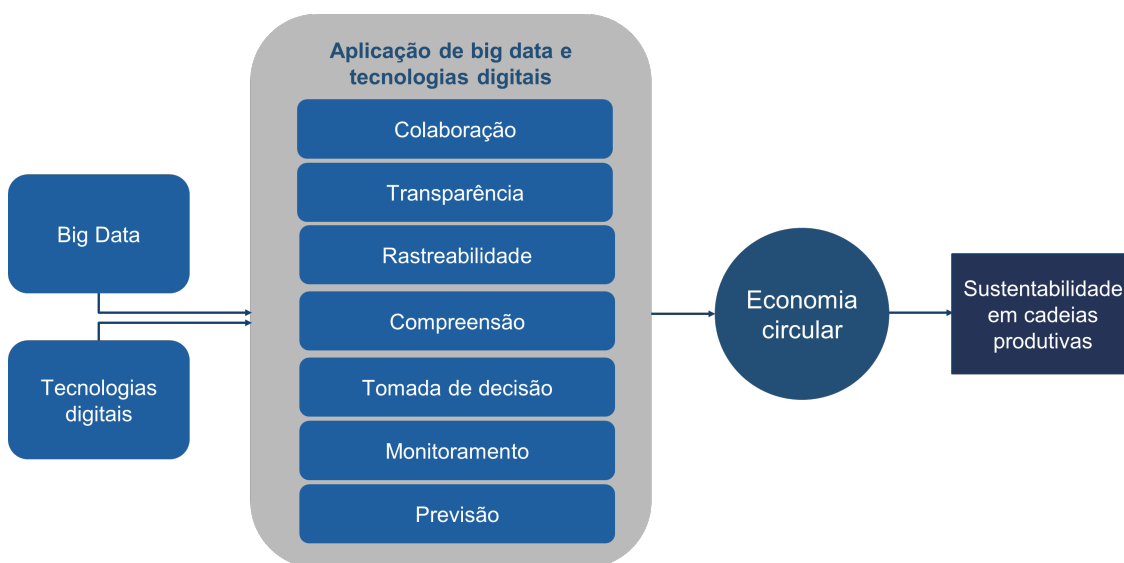


Figura 3.9. Aplicação de big data e tecnologias digitais à economia circular



### 3.5.1. Estratégias para Colaboração

Técnicas de big data analytics podem permitir que as organizações analisem e extraiam informações úteis de eventos de registros digitais (e.g., registros de *logs* de servidores da Web, atividade de navegação, dados de sensor), bem como dados gerados por humanos (e.g., *feedback*, postagens) [Lehrer et al. 2018]. Essa habilidade provê um conhecimento ampliado sobre o processo do ciclo de vida do produto, resultando em maior transparência e visibilidade de suas ações. Como consequência, a obtenção desses dados pode contribuir para que atuem de forma colaborativa, agregando e compartilhado as informações entre os colaboradores [Garcia-Torres et al. 2021].

Diante desse contexto, empresas que buscam a transição para a economia circular são desafiadas a atuarem de modo colaborativo, permitindo que múltiplos *stakeholders* se envolvam nas estratégias do modelo de negócio. Assim, a transição para a economia circular, a partir da teoria de *stakeholders*, destaca a necessidade de que diferentes partes da cadeia produtiva atuem ativamente na definição da proposta de valor e nas estratégias circulares, de forma que todos possam atuar de forma colaborativa e serem beneficiados com os resultados da estratégia estabelecida [Gupta et al. 2019, Sandvik and Stubbs 2019].

Adicionalmente, ao se considerar a economia circular, a colaboração é considerada um fator-chave, em relação à responsabilidade coletiva. A responsabilidade não deve ser transferida de uma parte para a outra, por exemplo, do vendedor para o consumidor. Ao contrário, identifica-se que, no decorrer do ciclo de vida de um produto, todos os *stakeholders* devem ser responsabilizados. Sem essa responsabilidade coletiva, torna-se inviável garantir que a sustentabilidade será aplicada em todo o ciclo de vida do produto, uma vez que uma decisão tomada em uma etapa impacta diretamente a etapa seguinte [Moorhouse 2020].

A partir de uma revisão sistemática da literatura, Marquesone e Carvalho identificam que tecnologias de big data podem contribuir para a colaboração na economia circular [Marquesone and Carvalho 2022a]. Dentre os benefícios identificados, pode-se citar:

- Auxílio na integração de informações entre *stakeholders*. A capacidade de tecnologias de big data como o Hadoop, somado ao conceito de *data lake*, pode contribuir para que os dados coletados de diferentes fontes ao longo da cadeia produtiva sejam integrados, possibilitando uma análise que incorpore informações obtidas da colaboração entre os *stakeholders*. Ou seja, uma plataforma colaborativa de dados é criada, possibilitando agregar as informações referentes ao ciclo de vida do produto. Nesse contexto, tecnologias de computação em nuvem podem também ser utilizadas, provendo serviços que auxiliem no acesso remoto à plataforma pelos usuários, além de possibilitar a implantação das tecnologias de big data, como o Apache Hadoop, em um ambiente flexível e de alta escalabilidade.
- Melhoria na visibilidade das etapas da cadeia produtiva. A partir de técnicas de big data analytics, as empresas tornam-se habilitadas a analisarem dados obtidos de toda a cadeia produtiva, podendo, assim, obter uma visão dos impactos econômicos, ambientais e sociais, causados ao longo da produção. Esta habilidade contribui na colaboração, uma vez que todo o contexto de produção é avaliado, necessitando

do apoio mútuo para a resolução dos desafios identificados. Também possibilita que os resultados das análises sejam compartilhados com todos os envolvidos, aumentando, assim, a visibilidade da cadeia.

- Auxílio no gerenciamento de redes diretas e redes reversas. Conforme já mencionado, a economia circular inclui estratégias que envolvem todo o ciclo de vida do produto, incluindo a fase de fim de vida. Nesse contexto, a logística reversa desempenha um papel fundamental nas estratégias de circularidade, provendo meios para que os materiais e produtos sejam reaproveitados e utilizados em novos ciclos. Dessa forma, técnicas de big data analytics podem contribuir para a colaboração de dados obtidos tanto nas redes diretas quanto nas redes reversas, para assim, prover percepções referentes à ligação entre elas.

Apesar da identificação de que big data contribui para a colaboração entre *stakeholders* na transição para a economia circular, um desafio relacionado à esse fato é a cultura organizacional. Uma cultura organizacional pode ser definida como um conjunto de crenças e valores compartilhados que dão significado aos membros de uma instituição e lhes fornecem regras de comportamento em sua organização. Esta cultura é capaz de influenciar diversos fatores na organização, como objetivos, estrutura, cooperação, comunicação e tomada de decisão [Sun 2008]. Entretanto, mesmo diante dos benefícios percebidos, a adoção de cultura orientada a dados ainda é considerada um desafio, inibindo o acesso aos dados, até mesmo entre departamentos internos. Normalmente, ainda identifica-se a existência de silos de dados, reduzindo a possibilidade de compartilhamento dos dados e, como consequência, minimizando a chance de extrair informações significativas dos dados. Portanto, não somente os dados relativos às práticas de sustentabilidade e circularidade deixam de ser compartilhados, como também outros dados que poderiam ajudar a organização a aprimorar seus modelos de negócios.

### 3.5.2. Estratégias para Transparência e Rastreabilidade

Para que a transição para a economia circular ocorra, são identificados alguns obstáculos, resultantes do modelo de processo linear até então adotado. Um desses obstáculos se refere à falta de transparência e rastreabilidade na cadeia produtiva, de forma que todos os *stakeholders*, incluindo os consumidores, tenham visibilidade das práticas adotadas em cada etapa, possibilitando assim monitorar e identificar o impacto ambiental e social em todo o processo produtivo [Moorhouse 2020].

Identifica-se, na literatura, que a falta de transparência pode ocorrer por diversos fatores, como, por exemplo, por motivos estratégicos, na qual a empresa não divulga seus dados com foco em obter vantagem competitiva. Nesse cenário, mesmo a empresa divulgando relatórios de sustentabilidade, ainda é comum que ocorra o que é atualmente denominado *greenwashing*, caso em que os dados são apresentados com vieses, ocultando informações ou criando uma falsa aparência de sustentabilidade.

Entretanto, diante da complexidade existente em toda a cadeia produtiva de uma determinada indústria, ocorre, em determinadas situações, que empresas sequer possuem a aquisição dos dados necessários para compreender seu impacto ambiental e social. Dessa forma, a adoção de tecnologias de big data, técnicas de big data analytics e tecno-

logias digitais podem contribuir para prover meios que possibilitem a captura e a análise desses dados, trazendo maior transparência de todo o processo.

Considerando também o aspecto rastreabilidade, um exemplo de estratégia voltada à cadeia produtiva de uma indústria é a adoção de blockchain. A partir dessa tecnologia, torna-se possível o mapeamento dos impactos ambientais e sociais causados nas diferentes etapas de produção, mantendo um histórico imutável sobre o processo produtivo, permitindo, assim, o rastreamento de cada operação, a sua autenticidade, para, assim, avaliar questões referentes à sustentabilidade. Além disso, essas informações podem ser acessadas a partir de dispositivos de IoT, como a Identificação por Radiofrequência (*Radio Frequency Identification* - RFID), possibilitando que diferentes *stakeholders*, incluindo os consumidores, tenham acesso a tais dados de maneira facilitada, obtendo informações que possam auxiliá-los na decisão de uma compra mais consciente. Esta abordagem também facilita o rastreamento do produto em sua fase pós-consumo, auxiliando nas práticas referentes à logística reversa, uma vez que permite mapear a identificação do local, das características e do estado do produto nesta etapa.

### 3.5.3. Estratégias para Compreensão e Tomada de Decisão

Outra percepção relacionada à economia circular é que, mesmo empresas que já capturam dados ao longo de toda a cadeia produtiva, essas não possuem uma visão clara de todo o ciclo de vida do produto, resultando em fatores como a obscuridade dos dados e a incerteza das decisões tomadas. Assim, a organização não tem visibilidade suficiente que lhe permita ter uma visão de quais estratégias e processos estão sendo aplicados ao longo do ciclo de vida de um produto, não identificando em quais etapas estão ocorrendo problemas de sustentabilidade e quais devem ser aperfeiçoados. Nesse contexto, a aplicabilidade de big data e tecnologias digitais podem auxiliar essas empresas a reduzirem incertezas durante o ciclo de vida de um produto, obtendo uma maior compreensão sobre esse [Thorisdottir and Johannsdottir 2019].

Soluções guiadas por dados podem ser aplicadas como um fator-chave para auxiliar as empresas a coletar dados e a medir o impacto de suas ações, seu desempenho e sua estratégia de negócios para buscar uma abordagem mais sustentável para a transição para a economia circular [Gupta et al. 2019]. Nesse contexto, a adoção de técnicas de análise descritiva pode prover uma maior compreensão das métricas e dos indicadores de sustentabilidade, possibilitando que a empresa obtenha uma visão mais clara de seus impactos ambientais e sociais.

Conforme apresentado por Marquesone e Carvalho, a adoção de big data pode contribuir na compreensão e no processo de tomada de decisão voltados à economia circular a partir de uma série de fatores, tais como [Marquesone and Carvalho 2022a]:

- No processo de tomada de decisão, obtendo dados que contribuam para a compreensão sobre hábitos e estratégias de produção e consumo de um determinado produto. Para isso, sensores e dispositivos de IoT podem contribuir na captura de dados do processo produtivo.
- Na análise e na compreensão referente à utilização e ao rendimento dos recursos utilizados ao longo das etapas da cadeia produtiva, podendo, assim, identificar pontos

a serem otimizados. Nesse contexto, algoritmos de IA podem também contribuir para gerar análises que relatem o melhor curso de ação em relação a medidas que reduzam a quantidade de recursos utilizados e que gere menor impacto ambiental.

- Na geração de conhecimento referente ao processo de concepção de um produto, avaliando e mensurando o impacto das decisões tomadas durante todo o seu ciclo de vida.
- Na compreensão das condições de trabalho em todas as etapas da cadeia produtiva, a partir da análise integrada dos dados obtidos de fornecedores e colaboradores internos, possibilitando, assim, identificar condições sociais em partes específicas da cadeia que precisam ser solucionadas.
- Na identificação de pontos de desperdício ao longo das etapas da cadeia produtiva, provendo percepções que auxiliem na compreensão de como reduzir tais desperdícios, ou como utilizá-los em novos ciclos de produção.

#### **3.5.4. Estratégias para Monitoramento e Previsão**

Ao utilizar modelos preditivos e em tempo real, as empresas podem obter maiores percepções sobre processos e recursos que devem ser compartilhados em um modelo de economia circular [Gupta et al. 2019]. Além disso, a captura de eventos a partir de sensores e dispositivos de IoT permite ampliar a capacidade de compreensão dos dados ao longo da cadeia produtiva. Por exemplo, a análise do impacto ambiental na etapa de distribuição do produto pode ser obtida a partir de sensores que medem a emissão de gases poluentes. Dessa forma, pode-se identificar fatores que podem contribuir para a redução da emissão.

A partir das estratégias apresentadas, identifica-se a necessidade do compartilhamento dos dados com *stakeholders*, ao utilizar big data e/ou tecnologias digitais para a transição de economia circular. Nesse contexto, é importante destacar que a interação com os dados compartilhados pode ocorrer como remetentes e receptores de dados, de acordo com suas necessidades. Cada colaborador pode contribuir com seus dados existentes, para prover mais subsídios de dados a serem comunicados com os demais.

Ao compartilhar dados entre as partes interessadas em uma plataforma, permitindo que cada um atue como emissor e receptor, torna-se possível ampliar o leque de dados disponíveis e aumentar a perspectiva sobre tais dados. Nesse contexto, mesmo que diferentes *stakeholders* recebam os mesmos dados, cada um pode ter uma perspectiva diferente sobre o mesmo, atuando de acordo com suas habilidades.

Por exemplo, ao considerar as grandes empresas atuando como remetentes, essas podem compartilhar as ferramentas e técnicas usadas para extrair, armazenar, processar e analisar os dados usados para avaliar o desempenho em termos de sustentabilidade e atividades da economia circular. Podem, também, compartilhar indicadores obtidos na medição de desempenho da empresa, para que outras empresas e colaboradores tenham uma visão transparente das práticas da empresa. Podem compartilhar o progresso da empresa em relação à economia circular, inspirando outras empresas e instituições a adotarem práticas semelhantes. Em adição, podem compartilhar informações relacionadas ao comportamento do consumidor, obtidas a partir de abordagens como campanhas de *marketing*, análise de mídia social e análise de registros de *log*.

Ao atuar como receptora, tais empresas podem receber dados de outras empresas para obter uma análise de seu desempenho. Podem, também, receber dados de seus fornecedores e de todas as partes envolvidas no ciclo de vida do produto, a fim de compreender as questões de sustentabilidade envolvidas em cada etapa. Também podem receber dados de pesquisadores, instituições e educadores, tendo acesso a experimentos, provas de conceito e estudos de caso que podem contribuir para a formulação de um modelo de negócio circular e para o processo de tomada de decisão.

### **3.6. Cenário de Aplicação: Economia Circular e a Indústria Têxtil**

Uma abordagem que tem sido considerada como impulsionadora para a promoção de uma indústria mais sustentável é o princípio da economia circular [Mungcharoen et al. 2021]. Considerada uma alternativa ao modelo tradicional de economia linear, a economia circular na indústria têxtil e do vestuário busca uma mudança em toda a cadeia produtiva, desde a produção ao consumo de um produto, estendendo seu ciclo de vida, gerando mudanças positivas não somente no âmbito econômico, mas também social e ambiental, por meio de uma abordagem restaurativa e regenerativa no design dos produtos. Dessa forma, a indústria têxtil é avaliada nessa seção, havendo um relato referente aos desafios de sustentabilidade atualmente enfrentados. Na sequência, apresenta-se, também, um estudo inicial de estudos de caso referentes à adoção de economia circular nessa indústria, contendo uma análise sobre a possibilidade de aplicação de big data e tecnologia digitais nessas estratégias.

#### **3.6.1. Desafios de Sustentabilidade da Indústria Têxtil**

A indústria têxtil, utilizada como cenário de aplicação nesse estudo, é considerada uma indústria de substancial poder econômico, provendo empregos diretos e indiretos em nível global. Entretanto, identifica-se, nessa indústria, uma série de desafios ambientais e sociais que necessitam ser solucionados, para que essa torne-se sustentável. Considerando esse contexto, em [Marquesone and Carvalho 2022b], doze desafios foram identificados na indústria têxtil. Nesse artigo, as autoras também categorizaram os desafios a partir das dimensões volume, variedade e velocidade dos dados, utilizadas na definição de big data. Seguindo essa mesma abordagem, a seguir são apresentados os desafios identificados, contendo uma descrição sobre esses.

**Desafio 1** - Grande volume de roupas produzidas. Há uma estimativa de que 111 milhões de toneladas de fibras têxteis foram utilizadas em 2019, para atender a quantidade de roupas e demais artigos têxteis a serem produzidos, representando um crescimento de 50% em relação a 2008 [Matlin et al. 2020]. Uma mudança significativa observada na indústria têxtil é a pressão por roupas mais baratas ao longo dos anos, resultando em seu uso em períodos mais curtos de tempo. Essa demanda crescente gera o aumento da produção e a quantidade crescente de resíduos têxteis [Koszewska 2019, Brydges 2021]. Este cenário denomina-se atualmente como *fast fashion* e é considerado um dos desafios atuais relacionados à sustentabilidade nesta indústria, tanto nos aspectos ambientais como sociais.

**Desafio 2** - Grande volume de matérias-primas extraídas. Embora o grande volume de roupas produzidas possa resultar em crescimento econômico, esse é conside-

rado um desafio de sustentabilidade, devido aos impactos ambientais e sociais causados. Dentre os impactos ambientais, insere-se a contínua extração de matérias-primas para a produção de novas roupas e demais artigos têxteis.

A indústria têxtil é altamente dependente de matéria-prima em sua cadeia produtiva. Um produto têxtil pode ser derivado tanto de recursos naturais, como o algodão, quanto de recursos sintéticos, como o poliéster, obtido a partir de recursos fósseis, oriundos do petróleo. Nesse cenário, ambos os recursos geram impactos ambientais, em diferentes níveis [Chen et al. 2021]. Por exemplo, a produção de algodão resulta em vasta exploração do solo para monoculturas, além de quantidades excessivas de água para seu cultivo. O poliéster, por sua vez, resulta em processos com elevada emissão de gases poluentes, contaminação do solo e a água, além da geração de microplásticos, que são descarregados nos oceanos após cada lavagem, prejudicando a saúde humana e a marinha.

**Desafio 3** - Grande volume de gases poluentes emitidos. Estudos apontam que a indústria têxtil é considerada a segunda indústria mais poluente do mundo, ficando atrás somente da indústria de gás e do petróleo [Saha et al. 2021]. Dessa forma, conforme apresentado na definição da Fundação Ellen MacArthur, torna-se necessário uma estratégia de economia circular que considere também o uso de energias renováveis, visando assim a redução da emissão desses gases nas diversas etapas da cadeia produtiva dessa indústria [EMF 2012]. Um estudo apresentado pela empresa de consultoria McKinsey, em 2020, considerando a indústria têxtil, de vestuário e de calçados, foi identificado que 77% das emissões ocorrem nas etapas de produção. Identificou-se, também, que 3% dessas emissões ocorrem na etapa de varejo, 3% na de transporte, 20% no uso do produto e 3% no fim de uso do produto [McKinsey 2020].

**Desafio 4** - Grande volume de água utilizada. Identifica-se, na indústria têxtil, que diversas etapas da cadeia produtiva requer uma quantidade elevada de água. Ao todo, estima-se que são consumidos 93 bilhões de metros cúbicos de água anualmente nessa indústria [Ütebay et al. 2020]. Esse cenário é identificado já na etapa de cultivo da matéria-prima, uma vez que o algodão, uma das matérias-primas mais utilizadas, requer um alto consumo de água para a irrigação do solo. Além disso, etapas como o tingimento e a estamparia de tecidos também são caracterizados pelo alto consumo.

**Desafio 5** - Grande volume de resíduo gerado. Um outro desafio existente na indústria têxtil refere-se ao final de vida dos produtos têxteis, gerando, atualmente, quantidades elevadas de resíduos, que, em sua grande parte, são incinerados ou despejados em aterros, causando a emissão de gases poluentes, contaminando o solo e a água. Estudos estimam que 92 milhões de toneladas de resíduos têxteis sejam gerados anualmente [Li and Leonas 2021]. Esses resíduos são gerados tanto nas etapas pré-consumo, resultantes de sobras de tecidos e demais materiais têxteis no processo industrial, quanto nas etapas pós-consumo, resultante do descarte de roupas e outros itens têxteis pelos consumidores.

Identifica-se, diante desse desafio, a necessidade de estratégias que possibilitem o reaproveitamento dos materiais, seja por ciclos técnicos ou biológicos. Para isso, medidas voltadas ao compartilhamento de responsabilidade do produtor são também cruciais, para prover ao consumidor mecanismos que o permita e o estimule a prover um destino

adequado às roupas descartadas, como por exemplo, por meio de programas de coleta.

**Desafio 6** - Grande variedade de *stakeholders*, etapas e materiais envolvidos ao longo da cadeia produtiva. Embora sejam apresentados três desafios diferentes, esses são integrados, por terem uma relação entre seus impactos. A indústria têxtil possui, ao considerar toda a sua cadeia produtiva, um conjunto vasto de *stakeholders* envolvidos na produção de um item têxtil, como por exemplo: produtores, fornecedores, fabricantes, *designers* e varejistas. Somente na produção de uma jaqueta jeans, por exemplo, é possível a ocorrência de mais de cem operações, envolvendo uma quantidade vasta de material, recursos utilizados e profissionais envolvidos no processo [Marquesone and Carvalho 2022b].

**Desafio 7** - Grande variedade de informações desconhecidas e ocultas sobre o processo produtivo e o impacto ambiental causado. A indústria têxtil, além de conter uma ampla variedade de *stakeholders*, etapas e materiais envolvidos ao longo da cadeia produtiva, também é considerada uma indústria fragmentada e geograficamente dispersa, o que torna mais desafiador uma análise do impacto ambiental e social em cada etapa e processo ao longo da cadeia produtiva [Thorisdottir and Johannsdottir 2019]. Nesse contexto, identifica-se a falta de transparência das empresas dessa indústria, não sendo possível mensurar e monitorar o impacto causado por essas. Somado a isso, tem-se também a falta de rastreabilidade, possibilitando a identificação dos impactos de forma isolada, em cada etapa da produção, até o fim de uso do produto.

**Desafio 8** - Grande variedade de condições inadequadas de trabalho na indústria. Diversos estudos apontam que, além dos impactos ambientais causados por essa produção excessiva na indústria, há também desafios sociais, referentes às condições inadequadas de trabalho [Saha et al. 2021]. Esse cenário ocorre principalmente em países em desenvolvimento, como Sri Lanka e Bangladesh, que, após o desmantelamento do Acordo Multifibras (*Multi-Fibre Arrangement - MFA*), passou a receber uma grande demanda de produção de artigos têxteis, devido à mão de obra barata nas fábricas [Ernst et al. 2005]. Entretanto, a discussão sobre esse contexto ganhou maior notoriedade em 2013, após o desabamento do edifício Rana Plaza, em Bangladesh, que abrigava diversas fábricas têxteis independentes, resultando na morte dos colaboradores [Marquesone and Carvalho 2022b].

Diante da pressão pela produção cada vez mais rápida e com materiais de baixo custo, identifica-se a existência, até os dias atuais, de trabalhadores em condições de trabalho precárias, como baixos salários, cargas horárias excessivas e fábricas em instalações inadequadas. Ou seja, mesmo sendo somente um desafio social aqui apresentado, ele engloba diversos fatores, tais como o bem-estar humano, a equidade de gênero, acesso à educação e exploração de trabalho infantil [Huq et al. 2014].

**Desafio 9** - Grande variedade de componentes químicos utilizados na produção. Além do elevado consumo de água, uma outra preocupação ambiental referente à indústria têxtil se deve à elevada quantidade de componentes químicos utilizados ao longo da cadeia produtiva [Gupta et al. 2022]. Exemplos incluem fertilizantes, pesticidas e corantes, utilizados tanto em tecidos naturais quanto sintéticos. Como resultado, são liberadas substâncias tóxicas no meio ambiente, poluindo o ar, a água e a saúde das pessoas [Marquesone and Carvalho 2022b].

**Desafio 10** - Grande velocidade de produção de roupas. Diretamente relacionado

ao desafio 1, identifica-se um aumento crescente na velocidade com que as roupas estão sendo produzidas atualmente. Estimuladas pelo modelo de negócio *fast fashion*, empresas da indústria têxtil e do vestuário estão reduzindo cada vez mais o intervalo entre as coleções, havendo varejistas que apresentam ao mercado novas coleções a cada quatro semanas, estimulando o consumidor a adquirir uma nova peça de roupa, por meio de estratégias de *marketing* [Saha et al. 2021]. Além de haver uma pressão por custos menores na produção, esse curto prazo resulta da dificuldade das empresas em prever de forma precisa a demanda para uma determinada coleção, fazendo com que estoques excessivos sejam gerados, aumentando, assim, a quantidade de roupas descartadas.

**Desafio 11** - Grande velocidade de consumo das roupas. Em adição do desafio 10, identifica-se, também, uma redução na quantidade de vezes que as pessoas utilizam uma peça de roupa. Um estudo relata que as pessoas estão utilizando as roupas 50% a menos, quando comparado a duas décadas atrás [Koszewska 2019]. Além da obsolescência percebida, gerada pela introdução constante de novas coleções, identifica-se também, que as pessoas não se sentem mais emocionalmente ligadas a uma peça de roupa, tornando, assim, mais fácil seu descarte. Além disso, estudos também atribuem esse desafio ao fato de que as novas gerações estão perdendo o hábito de reparar uma peça de roupa, sendo mais fácil a compra de um novo item [Diddi and Yan 2019].

**Desafio 12** - Grande velocidade de descarte das roupas. Por fim, em consonância com os desafios 10 e 11, está a grande velocidade com que as roupas estão sendo descartadas. Atualmente, considera-se que a roupa é um dos itens mais subutilizados, uma vez que seu descarte ocorre por vezes ainda em boas condições de uso. Como resultado, além do impacto ambiental causado, identifica-se, também, uma perda de valor econômico, uma vez que o uso das roupas descartadas poderia ser prolongado por meio de estratégias de circularidade, ou o material dessas ser utilizado em novos ciclos, como insumos para a produção de novos materiais e produtos.

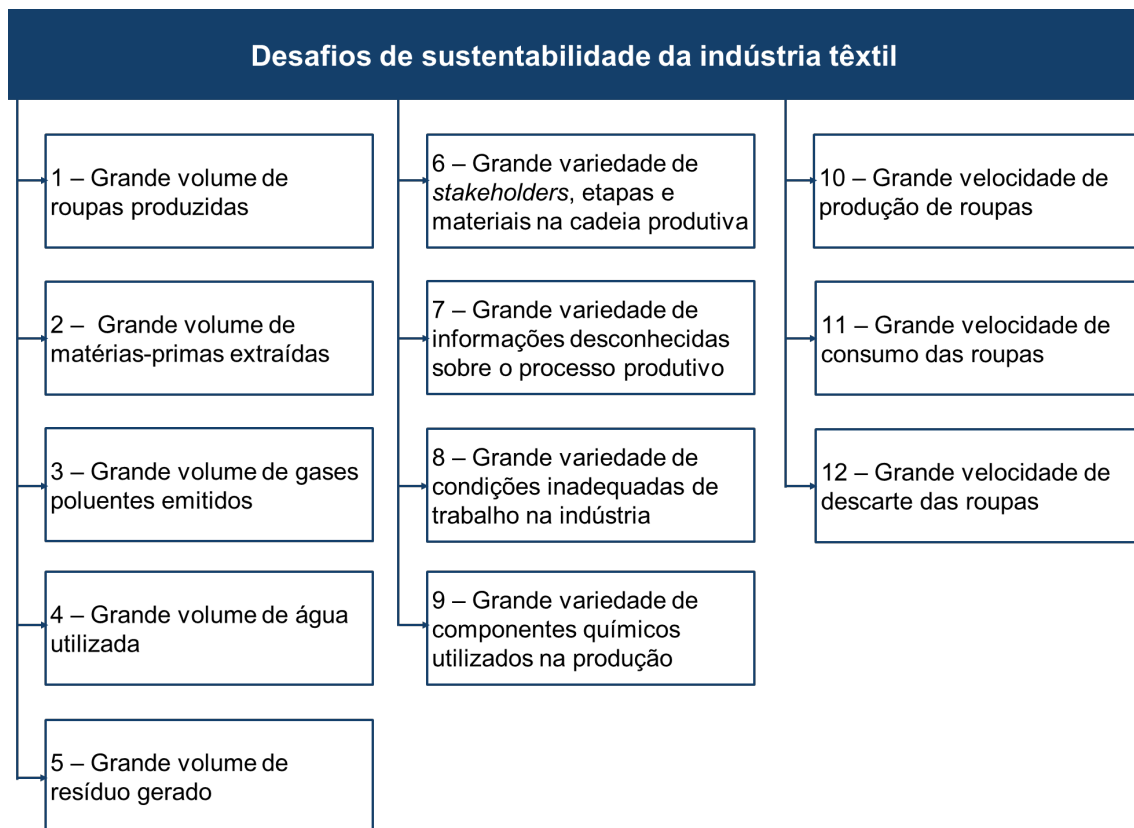
Na Figura 3.10 é apresentado um resumo dos desafios relatados. Diante do exposto, identifica-se que a transição para a economia circular, visando tornar a indústria têxtil sustentável, é desafiadora, porém necessária. Dado os impactos ambientais e sociais causados, considera-se que o modelo de produção linear nessa indústria está atingindo seus limites, tanto por pressões internas, uma vez que o custo pelos recursos naturais estão cada vez mais elevados, diante da escassez, quanto de pressão externa, conforme a sociedade torna-se mais consciente e exige que as empresas atuem de modo responsável.

Diversas iniciativas estão sendo criadas atualmente para demandar que as empresas na indústria têxtil e da moda revelem suas informações e atuem de forma mais transparente. Essas se referem tanto a iniciativas regulatórias, por meio da imposição de políticas e leis, quanto iniciativas relacionadas à divulgação de relatórios que relatem como as empresas estão se posicionando em relação à transparência de suas ações sustentáveis. Por exemplo, uma iniciativa voltada para o objetivo de aumentar a transparência na indústria da moda por meio dos dados é o *Fashion Transparency Index* (FTI), uma iniciativa criada em 2017, e que a cada ano apresenta uma avaliação em termos de transparência de empresas na indústria da moda, em relação ao seu desempenho sustentável.

Embora o FTI ofereça uma maior compreensão sobre o cenário de sustentabilidade na indústria têxtil e da moda, ao analisar as estratégias de divulgação dos dados de



sustentabilidade das empresas avaliadas pelo FTI, um estudo identificou que a transparência ainda é limitada nessas indústrias, de forma que a maioria das marcas ainda hesitam na divulgação de suas práticas de sustentabilidade, havendo ainda uma cultura voltada à tornar os dados obscuros, impedindo, assim, o avanço para a economia circular na indústria [Jestratijevic et al. 2021].



**Figura 3.10. Desafios de sustentabilidade da indústria têxtil**

WikiRate [WIKIRATE 2021] é uma ferramenta aberta e colaborativa, lançada em 2013, com o objetivo de levantar e responder questões importantes sobre os impactos corporativos. Atualmente, esta ferramenta é utilizada em colaboração com um conjunto diversificado de empresas, universidades e ONGs com foco na coleta e na extração de percepções de dados corporativos. A ferramenta foi desenvolvida a partir de um projeto europeu denominado Collective Awareness Platform for Sustainability and Social Innovation (CAPS), que tinha como objetivo analisar o desempenho ESG das empresas. A partir deste projeto, foi identificada a necessidade de um repositório público aberto de tais dados, aumentando a transparência e permitindo que muitos stakeholders tenham acesso e a possibilidade de extrair *insights* dele.

O Higg Index [SAC 2021], desenvolvido pela Sustainable Apparel Coalition (SAC) em 2011, é definido como uma ferramenta de autoavaliação para medir o desempenho de sustentabilidade de marcas na indústria de vestuário, calçados e têxtil. A coalizão é formada por mais de 40 empresas dos setores mencionados, como Patagonia, Nike e Walmart, que atuam em conjunto para fornecer um padrão de métricas para medir e monitorar práticas sustentáveis. Um dos objetivos do Higg Index é proporcionar a colaboração de

ferramentas e práticas sustentáveis entre seus membros, facilitando o processo de medição, monitoramento e comunicação de seu desempenho. Portanto, as empresas que fazem parte do SAC podem utilizar um conjunto de ferramentas para essa medição, possibilitando uma análise comparativa entre cada empresa [Gonçalves and Silva 2021].

Uma outra ferramenta, voltada especificamente para a economia circular, é a *Circulytics* [EMF 2021], desenvolvida pela equipe de dados e métricas da Fundação Ellen MacArthur, com o objetivo de oferecer o suporte para a transição de modelos de negócios para a economia circular. Essa ferramenta oferece uma solução para ser utilizada por diferentes tipos de indústrias, independente de seu tamanho e complexidade. Dentre as funcionalidades da ferramenta, destaca-se a avaliação do nível de circularidade dos produtos ou serviços de uma determinada empresa. Essa avaliação é realizada a partir de um conjunto de indicadores, denominados *Material Circularity Indicator*.

Dado os desafios apresentados, bem como exemplos de estratégias que visam solucioná-los, ressalta-se a importância de avanços na transição para a economia circular na indústria têxtil. Nesse contexto, o apoio por meio de big data e tecnologias digitais é identificado como elemento habilitador para auxiliar nessa transição.

### 3.6.2. Modelos de Negócios Circulares da Indústria Têxtil e a Aplicação de Big Data e Tecnologias Digitais

Nessa seção é apresentado um conjunto de cinco estudos de caso referentes a modelos de negócios de economia circular na indústria têxtil, descrevendo como big data e/ou tecnologias digitais podem contribuir para a melhoria das estratégias voltadas à sustentabilidade. Os estudos de caso são obtidos de uma plataforma denominada *Knowledge Hub*<sup>1</sup>, que oferece uma biblioteca on-line de livre acesso a milhares de estudos de caso de economia circular. Mais especificamente, os estudos de caso selecionados fazem parte da coleção *World Circular Textiles Day (WCTD)*<sup>2</sup>, contendo estudos de caso específicos da indústria têxtil. A partir desse levantamento, o projeto WCTD visa realizar uma investigação anual do *status* da economia circular na indústria têxtil, até o ano de 2050, onde é esperado que a indústria seja completamente circular.

**Estudo de caso 1 - Transparência e rastreabilidade a partir de tecnologias digitais.** Conforme apresentado na Seção 3.5.2, a transição para a economia circular requer que empresas sejam mais transparentes e promovam a rastreabilidade de sua cadeia produtiva, para que, assim, essas possam obter e divulgar uma melhor compreensão do impacto ambiental e social causado ao longo do ciclo de vida do produto, além de se comprometer na redução dos impactos identificados. Para contextualizar essa abordagem, esse estudo de caso refere-se à uma marca de moda italiana, especializada na produção de jeans utilizando algodão orgânico, e adotando práticas sustentáveis, como a produção com baixo consumo de água.

O uso de tecnologias digitais foi realizado pela marca, com foco em prover maior transparência e rastreabilidade aos seus consumidores, mostrando a esses detalhes do processo produtivo. Para isso, a empresa realizou uma parceria com uma empresa de

---

<sup>1</sup><https://knowledge-hub.circle-lab.com/>

<sup>2</sup><https://worldcirculartextilesday.com/>

tecnologia chamada Provenance<sup>3</sup>, que, visando atender aos requisitos de transparência e rastreabilidade, além de oferecer uma melhor experiência ao cliente, desenvolveu um passaporte digital para cada produto da marca, possibilitando ao consumidor obter as informações referentes ao rastreamento do produto a partir de um QR Code gravado na peça de roupa. Ao fazer a leitura do QR Code, o consumidor é destinado à página da marca, onde é apresentado um histórico do processo produtivo em uma linha do tempo, permitindo a esse verificar informações do processo produtivo, tais como a identificação dos componentes utilizados para a produção em cada etapa do processo, os fornecedores parceiros e as certificações obtidas por esses.

Para prover maior confiança dos dados apresentados aos consumidores, foi utilizada a tecnologia blockchain para cadastrar as informações ao longo da cadeia produtiva, permitindo o registro imutável de cada evento. A partir dessa estratégia, a marca fortalece o relacionamento com seus fornecedores, dando maior visibilidade a esses e provendo uma confiança mútua. Possibilita, também, conscientizar os consumidores da marca, estimulando-os a compreenderem como o produto foi produzido e o impacto gerado nessa produção.

#### **Estudo de caso 2 - Serviço de gerenciamento de fim de vida de produto têxtil.**

Foi identificado na Seção 3.6.1 que um dos desafios de sustentabilidade na indústria têxtil refere-se à vasta quantidade de resíduos têxteis que são descartados em aterros ou são incinerados, causando severos danos ambientais e prejudicando a saúde humana. Dessa forma, soluções no contexto de economia circular na indústria têxtil devem considerar meios para a redução de resíduos e o gerenciamento do final de vida de um produto têxtil, evitando a ocorrência de impactos ambientais negativos. Nesse cenário, esse estudo de caso apresenta um exemplo de como a indústria têxtil pode atuar na resolução desse desafio.

O estudo de caso refere-se à uma eco-organização francesa, que, em parceria com as empresas de indústria têxtil e calçadista do país, oferece mecanismos para que os resíduos têxteis gerados tanto nas fases de produção quanto na de consumo, tenham um destino adequado, por meio de estratégias de circularidade<sup>4</sup>. Ela atua com foco na política estabelecida na França de Responsabilidade Estendida do Produtor, que determina que as empresas sejam responsáveis pelo gerenciamento dos produtos em fim de vida.

A empresa oferece uma série de iniciativas para contribuir na promoção de um destino adequado aos resíduos têxteis. Por exemplo, a partir de seu site e de um aplicativo móvel, a empresa fornece um serviço no qual as pessoas podem localizar pontos de entrega voluntária de produtos têxteis mais próximos, além de instruções referentes à classificação do produto e ao processo de entrega. A empresa também disponibiliza vídeos, realizam *webinars* e apresentam informações referentes à segunda vida de têxteis e calçados, promovendo maior conscientização e educação tanto aos produtores quanto aos consumidores.

Identifica-se, nesse estudo de caso, que a empresa atua com foco em capturar, integrar e compartilhar dados referentes à gestão do fim de vida dos produtos têxteis. Dessa

---

<sup>3</sup><https://www.provenance.org/case-studies/haikure>

<sup>4</sup><https://refashion.fr/>

forma, técnicas de big data analytics podem contribuir para que esses dados sejam melhor compreendidos e transformados em informações relevantes para o alcance de maior sustentabilidade na indústria. Além disso, serviços de computação em nuvem e o desenvolvimento de uma API podem facilitar a troca de dados entre os *stakeholders*, uma vez que os serviços providos são oriundos do apoio mútuo entre eles.

**Estudo de caso 3 - Serviço de aluguel de jeans.** Na Seção 3.2.5 foi apresentado um conjunto de estratégias de circularidade com foco em tornar mais sustentável a produção e o consumo de produtos. Nesse contexto, nesse estudo de caso é apresentado um modelo de negócio circular baseado no aluguel de roupas, ao invés da compra.

O estudo de caso refere-se a uma empresa com base na Holanda, que oferece um serviço de aluguel de jeans, possibilitando que seus clientes façam anualmente a troca por novas peças<sup>5</sup>. Ou seja, ao invés de pagar pela aquisição de uma calça jeans, por exemplo, o cliente paga uma mensalidade ao serviço de aluguel, e, ao final de um ano, o cliente pode decidir se deseja ficar com a calça permanentemente, ou se deseja trocar por uma nova peça. A empresa também oferece serviços de reparo, caso o cliente desejar continuar o uso da peça alugada.

Além de promover a circularidade do jeans a partir do serviço de aluguel, a empresa também é responsável pela fabricação de suas peças, utilizando materiais orgânicos para sua produção. Como estratégia de circularidade, também realiza a reciclagem do jeans para a produção de novas peças.

Os recursos de tecnologias digitais são utilizados tanto para promover uma melhor experiência ao cliente, que pode, a partir do site e do aplicativo da empresa, realizar a busca e o aluguel do jeans, de forma facilitada. Além disso, a empresa também promove informações sobre os impactos ambientais e sociais gerados ao longo da cadeia produtiva, e oferece vídeos e treinamentos para que estudantes e consumidores, visando contribuir para o aumento da educação e da conscientização sobre economia circular e sustentabilidade.

**Estudo de caso 4 - Modelo de negócio baseado na troca de roupas.** Além da possibilidade de prolongar o uso de um produto e promover a circularidade por meio de serviços de aluguel, conforme apresentado no estudo de caso anterior, esse estudo de caso apresenta uma estratégia de circularidade alternativa, focada no serviço de troca de roupas.

Esse estudo de caso se refere a uma *startup* social holandesa, que visa atuar na indústria têxtil e da moda de forma sustentável, reduzindo o volume de roupas produzidas, a quantidade de recursos naturais extraídos, bem como reduzindo o volume de resíduos têxteis<sup>6</sup>. Para isso, a proposta do modelo de negócio da empresa é baseado na troca de roupas. Os clientes da *startup* entregam peças de roupas usadas para a loja, que então avalia as condições da roupa, entregando ao cliente uma espécie de moeda, chamada *swaps*. A partir disso, o cliente pode utilizar seus *swaps* para escolher outras peças de roupas da loja. Dessa forma, torna-se possível que peças ainda em boas condições de uso continuem sendo utilizadas por outras pessoas, prolongando assim o seu uso. Essa estratégia

---

<sup>5</sup><https://mudjeans.eu/>

<sup>6</sup><https://www.the-swapshop.com/>

também contribui para aumentar a conscientização dos consumidores, uma vez que eles identificam outras alternativas de renovar o guarda-roupa, que não incluía a compra de novas peças.

Além desse modelo de negócio baseado na troca de roupas, a *startup* também realiza outras ações, voltadas ao contexto de economia circular. As roupas que não estão em condições de uso, por exemplo, são enviadas a empresas parceiras, que fazem a reciclagem dos produtos. Roupas em boas condições mas que não são de interesse nas trocas, são doadas para instituições de caridade. Além disso, a empresa também oferece cursos de empreendedorismo social, contribuindo na disseminação do conhecimento de modelos de negócios circulares.

Em relação à adoção de tecnologias digitais e de big data, a *startup* tem buscado oferecer uma melhor experiência ao cliente, possibilitando que esse faça aquisição de peças de roupa em um *e-commerce*, uma vez que esse tenha *swaps* para realizar a troca. Essa também tem realizado parcerias com outras empresas para testar soluções que permitem o rastreamento dos produtos trocados, para assim obterem uma melhor compreensão do fim de vida dos produtos. Além dessas estratégias, identifica-se que técnicas de big data analytics, como a de análise prescritiva, podem contribuir para automatizar o processo de avaliação de um produto a ser trocado, identificando, assim, suas condições, características e valor.

**Estudo de caso 5 - Produção de tecidos a partir de matérias-primas recicladas.** Além de prolongar o uso de um produto têxtil, a transição para a economia circular inclui, também, estratégias para a reciclagem de resíduos têxteis, para que esses possam ser utilizados em novos ciclos, evitando assim a extração de novas matérias-primas. Há, também, o objetivo de se utilizar matérias-primas que possam ser regeneradas ou restauradas, evitando a escassez de recursos.

Esse estudo de caso refere-se à uma empresa brasileira classificada como empresa B certificada, por ter uma visão socioambiental em seu modelo de negócio. Nesse caso, sua estratégia é, especificamente em promover a sustentabilidade na indústria têxtil<sup>7</sup>. Seu modelo de negócio baseia-se na comercialização de tecidos sustentáveis, produzidos a partir de fios de algodão reciclados e matérias-primas recicladas, como garrafas PET descartadas.

O processo de reciclagem adotado pela empresa dispensa o uso de produtos químicos, bem como o consumo de água. Após a reciclagem, os tecidos são utilizados para a produção de novos artigos têxteis, como roupas, bolsas, estofados e almofadas. Além dos tecidos produzidos a partir de matérias-primas recicladas, a empresa também atua com tecidos produzidos com algodão orgânico certificado. Nesse contexto, a adoção de big data e tecnologias digitais pode contribuir para que a empresa faça um melhor rastreio das matérias-primas adquiridas para sua produção de novos tecidos, bem como provendo o rastreio de seus tecidos aos clientes, que poderão obter uma informação detalhada da origem e do processo utilizado em toda a produção.

Considerando o contexto de economia circular, identifica-se que as tecnologias digitais podem contribuir para a empresa compartilhar com os consumidores as etapas de

---

<sup>7</sup><https://ecosimple.com.br/>

seu processo produtivo, para que esses tenham maior visibilidade de como a reciclagem é adotada, bem como dos impactos causados em cada etapa. Além disso, sensores e dispositivos no contexto de IoT podem auxiliar no mapeamento e na coleta dos resíduos, obtidos de empresas parceiras. Entretanto, os estudos de caso apresentados mostram que a adoção desses recursos para modelos de negócios de economia circular ainda está em seus primórdios, havendo uma ampla oportunidade de aperfeiçoamento das estratégias adotadas.

### **3.7. Considerações Finais**

A sociedade e o mundo estão em constante transformação. A era atual é marcada pela quantidade de dados gerados, bem como a introdução de inovações oriundas de big data e tecnologias digitais. Simultaneamente, identificamos, na era atual, uma preocupação com a necessidade de mudar os hábitos de produção e consumo, visando cadeias produtivas mais sustentáveis e consumidores conscientes, para assim obter uma harmonia entre a prosperidade econômica, o bem estar social e a preservação do meio ambiente. Nesse contexto, a economia circular surge como uma proposta promissora para se atingir esse objetivo.

Embora a relação entre big data, tecnologias digitais e economia circular não seja tão clara em um primeiro momento, observa-se que a partir de uma ligação entre esses conceitos, torna-se possível avançar na transição para a sustentabilidade. A partir de um estudo centrado na indústria têxtil, caracterizada por desafios ambientais e sociais ao longo de sua cadeia produtiva, foi apresentado um conjunto de possibilidades referentes à aplicabilidade de big data e tecnologias digitais com foco na transição para a economia circular. Assim, foi possível explorar, a partir desse estudo, diferentes meios com que essa aplicabilidade pode ser realizada, provendo benefícios como a colaboração, a transparência, a rastreabilidade, a previsão e o apoio no processo de tomada de decisão de estratégias circulares.

A partir dessa interseção de temas, pode-se identificar, também, que o alcance de uma cadeia produtiva mais sustentável pode ser apoiada por mudanças culturais nas organizações. A adoção de big data e tecnologias digitais auxilia em mudanças que proporcionam às empresas uma cultura orientada a dados, gerando percepções valiosas e otimizando o processo de tomada de decisão. Ao mesmo passo, investimentos em estratégias de circularidade auxiliam na implantação de uma cultura orientada à economia circular. Dessa forma, os dados e as tecnologias digitais adotadas podem, a partir dessa junção cultural, serem implementados de forma direcionada à sustentabilidade. Nesse contexto, práticas que incentivem a educação e a conscientização dos colaboradores sobre tais temas são essenciais para se alcançar essa mudança.

Entretanto, embora os benefícios do uso de big data e tecnologias digitais para a economia circular tenham sido explorados nesse estudo, há, ainda, a necessidade de se avançar em campos teóricos e práticos, uma vez que há desafios e incertezas sobre essa área de estudo. Dessa forma, sugere-se que a formação de equipes de estudo multidisciplinares, com pesquisadores e demais profissionais com conhecimentos em áreas como a designers, engenharia de produção, engenharia de computação, engenharia de software e ciência da computação, juntamente com demais profissionais, como os especializados na

área de sustentabilidade, podem, de forma colaborativa, identificar meios para a resolução dos desafios apresentados nesse estudo. Em adição, uma vez que a economia circular considera a necessidade de colaboração de todas as partes envolvidas no processo de produção e consumo, a união entre universidades, governantes, formuladores de políticas públicas, instituições públicas e privadas podem acelerar essa transição, promovendo benefícios mútuos a todos os envolvidos, impactando positivamente não somente a geração atual, como também as gerações futuras.

## Referências

- [Ahmad et al. 2021] Ahmad, W., Rasool, A., Javed, A. R., Baker, T., and Jalil, Z. (2021). Cyber security in iot-based cloud computing: A comprehensive survey. *Electronics*, 11(1):16.
- [Barros et al. 2020] Barros, M. V., Salvador, R., do Prado, G. F., de Francisco, A. C., and Piekarski, C. M. (2020). Circular economy as a driver to sustainable businesses. page 100006. Elsevier.
- [Benyus 1997] Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. Morrow New York, New York: Quill.
- [Brundtland 1987] Brundtland, G. H. (1987). Our common future—call for action. *Environmental Conservation*, 14(4):291–294.
- [Brydges 2021] Brydges, T. (2021). Closing the loop on take, make, waste: Investigating circular economy practices in the swedish fashion industry. volume 293, page 126245. Elsevier.
- [Cattell 2011] Cattell, R. (2011). Scalable sql and nosql data stores. *ACM Sigmod Record*, 39(4):12–27.
- [Chen et al. 2021] Chen, X., Memon, H. A., Wang, Y., Marriam, I., and Tebyetekerwa, M. (2021). Circular economy and sustainability of the clothing and textile industry. *Materials Circular Economy*, 3(1):1–9.
- [Côrte-Real et al. 2019] Côrte-Real, N., Ruivo, P., Oliveira, T., and Popovič, A. (2019). Unlocking the drivers of big data analytics value in firms. *Journal of Business Research*, 97:160–173.
- [Dastjerdi and Buyya 2016] Dastjerdi, A. V. and Buyya, R. (2016). Fog computing: Helping the internet of things realize its potential. *Computer*, 49(8):112–116.
- [De Donno et al. 2019] De Donno, M., Tange, K., and Dragoni, N. (2019). Foundations and evolution of modern computing paradigms: Cloud, iot, edge, and fog. *IEEE Access*, 7:150936–150948.
- [Deepa et al. 2022] Deepa, N., Pham, Q.-V., Nguyen, D. C., Bhattacharya, S., Prabadevi, B., Gadekallu, T. R., Maddikunta, P. K. R., Fang, F., and Pathirana, P. N. (2022). A survey on blockchain for big data: approaches, opportunities, and future directions. *Future Generation Computer Systems*.

- [Diddi and Yan 2019] Diddi, S. and Yan, R.-N. (2019). Consumer perceptions related to clothing repair and community mending events: A circular economy perspective. volume 11, page 5306. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [Dong and Yang 2018] Dong, J. Q. and Yang, C.-H. (2018). Business value of big data analytics: A systems-theoretic approach and empirical test. *Information & Management*, page 103124.
- [Elkington 1997] Elkington, J. (1997). The triple bottom line. *Environmental management: Readings and cases*, 2:49–66.
- [EMF 2012] EMF (2012). Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition. <https://ellenmacarthurfoundation.org/>. [Online; Acessado em 13-Abril-2021].
- [EMF 2014] EMF (2014). Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains. Ellen MacArthur Foundation (EMF) Isle of Wight, UK.
- [EMF 2015] EMF (2015). Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation (EMF) Isle of Wight, UK.
- [EMF 2021] EMF (2021). Circulytics - measuring circularity. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/circulytics-measuring-circularity>. [Online; Acessado em 23-junho-2021].
- [Ernst et al. 2005] Ernst, C., Ferrer, A. H., and Zult, D. (2005). The end of the multi-fibre arrangement and its implication for trade and employment. *ILO Employment Strategy Paper*, 16.
- [Ferrell 2021] Ferrell, O. (2021). Addressing socio-ecological issues in marketing: environmental, social and governance (esg). *AMS Review*, 11(1):140–144.
- [Fuente et al. 2017] Fuente, J. A., García-Sánchez, I. M., and Lozano, M. B. (2017). The role of the board of directors in the adoption of gri guidelines for the disclosure of csr information. *Journal of Cleaner Production*, 141:737–750.
- [Gandomi and Haider 2015] Gandomi, A. and Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. volume 35, pages 137–144. Elsevier.
- [Garcia-Torres et al. 2021] Garcia-Torres, S., Rey-Garcia, M., Sáenz, J., and Seuring-Stella, S. (2021). Traceability and transparency for sustainable fashion-apparel supply chains. Emerald Publishing Limited.
- [Gartner 2022] Gartner (2022). Gartner glossary. <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data>. [Online; Acessado em 25-Maio-2022].
- [Geissdoerfer et al. 2018] Geissdoerfer, M., Morioka, S. N., de Carvalho, M. M., and Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of cleaner production*, 190:712–721.



- [Geissdoerfer et al. 2017] Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., and Hultink, E. J. (2017). The circular economy—a new sustainability paradigm? *Journal of cleaner production*, 143:757–768.
- [Goldman et al. 2012] Goldman, A., Kon, F., Junior, F. P., Polato, I., and Pereira, R. d. F. (2012). *Apache Hadoop: conceitos teóricos e práticos, evolução e novas possibilidades*, chapter 3, pages 88–136. XXXI Jornadas de Atualizações em Informática (JAI). Sociedade Brasileira de Computação (SBC).
- [Gonçalves and Silva 2021] Gonçalves, A. and Silva, C. (2021). Looking for sustainability scoring in apparel: A review on environmental footprint, social impacts and transparency. volume 14, page 3032. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [Graedel 1996] Graedel, T. E. (1996). On the concept of industrial ecology. *Annual Review of Energy and the Environment*, 21(1):69–98.
- [GRI 2021] GRI (2021). Global reporting initiative—sustainability reporting guidelines. <https://www.globalreporting.org/>. [Online; Acessado em 26-Julho-2021].
- [Gupta et al. 2022] Gupta, R., Kushwaha, A., Dave, D., and Mahanta, N. R. (2022). Waste management in fashion and textile industry: Recent advances and trends, life-cycle assessment, and circular economy. *Emerging Trends to Approaching Zero Waste*, pages 215–242.
- [Gupta et al. 2019] Gupta, S., Chen, H., Hazen, B. T., Kaur, S., and Gonzalez, E. D. S. (2019). Circular economy and big data analytics: A stakeholder perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 144:466–474.
- [Haber and Stornetta 1990] Haber, S. and Stornetta, W. S. (1990). How to time-stamp a digital document. In *Conference on the Theory and Application of Cryptography*, pages 437–455. Springer.
- [Härting et al. 2018] Härting, R.-C., Reichstein, C., and Schad, M. (2018). Potentials of digital business models—empirical investigation of data driven impacts in industry. *Procedia Computer Science*, 126:1495–1506.
- [Hausberg et al. 2018] Hausberg, J., Liere-Netheler, K., Packmohr, S., Pakura, S., and Vogelsang, K. (2018). Digital transformation in business research: A systematic literature review and analysis. *DRUID18, Copenhagen Business School, Copenhagen, Denmark*.
- [Hilbert 2022] Hilbert, M. (2022). Digital technology and social change: the digital transformation of society from a historical perspective. *Dialogues in clinical neuroscience*.
- [Huq et al. 2014] Huq, F. A., Stevenson, M., and Zorzini, M. (2014). Social sustainability in developing country suppliers: An exploratory study in the ready made garments industry of bangladesh. *International Journal of Operations & Production Management*.

- [IPCC 2021] IPCC (2021). Climate change 2021: The physical science basis. contribution of working group i to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *IPCC*.
- [Jestratijevic et al. 2021] Jestratijevic, I., Uanhoro, J. O., and Creighton, R. (2021). To disclose or not to disclose? fashion brands' strategies for transparency in sustainability reporting. Emerald Publishing Limited.
- [Jiang et al. 2014] Jiang, L., Da Xu, L., Cai, H., Jiang, Z., Bu, F., and Xu, B. (2014). An iot-oriented data storage framework in cloud computing platform. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2):1443–1451.
- [Jo 2021] Jo, T. (2021). *Machine Learning Foundations: Supervised, Unsupervised, and Advanced Learning*. Springer Nature.
- [Khan et al. 2021] Khan, D., Jung, L. T., and Hashmani, M. A. (2021). Systematic literature review of challenges in blockchain scalability. *Applied Sciences*, 11(20):9372.
- [Khan et al. 2019] Khan, N., Naim, A., Hussain, M. R., Naveed, Q. N., Ahmad, N., and Qamar, S. (2019). The 51 v's of big data: survey, technologies, characteristics, opportunities, issues and challenges. In *Proceedings of the international conference on omni-layer intelligent systems*, pages 19–24.
- [Khan et al. 2022] Khan, S. A. R., Piprani, A. Z., and Yu, Z. (2022). Digital technology and circular economy practices: future of supply chains. *Operations Management Research*, pages 1–13.
- [Kirchherr et al. 2017] Kirchherr, J., Reike, D., and Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127:221–232.
- [Kostoska and Kocarev 2019] Kostoska, O. and Kocarev, L. (2019). A novel ict framework for sustainable development goals. *Sustainability*, 11(7):1961.
- [Koszewska 2019] Koszewska, M. (2019). Circular economy in textiles and fashion—the role of a consumer. In *Circular Economy in Textiles and Apparel*, pages 183–206. Elsevier.
- [Laney et al. 2001] Laney, D. et al. (2001). 3d data management: Controlling data volume, velocity and variety. *META group research note*, 6(70):1.
- [Lee 2017] Lee, I. (2017). Big data: Dimensions, evolution, impacts, and challenges. volume 60, pages 293–303. Elsevier.
- [Lehrer et al. 2018] Lehrer, C., Wieneke, A., vom Brocke, J., Jung, R., and Seidel, S. (2018). How big data analytics enables service innovation: materiality, affordance, and the individualization of service. *Journal of Management Information Systems*, 35(2):424–460.

- [Li and Leonas 2021] Li, J. and Leonas, K. K. (2021). Sustainability topic trends in the textile and apparel industry: a text mining-based magazine article analysis. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*.
- [Li et al. 2015] Li, S., Xu, L. D., and Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. *Information systems frontiers*, 17(2):243–259.
- [Liu et al. 2011] Liu, F., Tong, J., Mao, J., Bohn, R., Messina, J., Badger, L., Leaf, D., et al. (2011). Nist cloud computing reference architecture. *NIST special publication*, 500(2011):1–28.
- [Liu et al. 2021] Liu, Z., Liu, J., and Osmani, M. (2021). Integration of digital economy and circular economy: Current status and future directions. *Sustainability*, 13(13):7217.
- [Lu 2019] Lu, Y. (2019). The blockchain: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Industrial Information Integration*, 15:80–90.
- [Marquesone 2016] Marquesone, R. d. F. P. (2016). *Big Data: Técnicas e tecnologias para extração de valor dos dados*. Casa do Código, São Paulo.
- [Marquesone and Carvalho 2022a] Marquesone, R. d. F. P. and Carvalho, T. C. M. B. (2022a). *Modelo de implementação de big data como apoio na transição para a economia circular na indústria têxtil*. PhD thesis.
- [Marquesone and Carvalho 2022b] Marquesone, R. d. F. P. and Carvalho, T. C. M. d. B. (2022b). Examining the nexus between the vs of big data and the sustainable challenges in the textile industry. *Sustainability*, 14(8):4638.
- [Martínez-Caro et al. 2020] Martínez-Caro, E., Cegarra-Navarro, J. G., and Alfonso-Ruiz, F. J. (2020). Digital technologies and firm performance: The role of digital organisational culture. *Technological Forecasting and Social Change*, 154:119962.
- [Matlin et al. 2020] Matlin, S. A., Mehta, G., Hopf, H., Krief, A., Keßler, L., and Kümmerer, K. (2020). Material circularity and the role of the chemical sciences as a key enabler of a sustainable post-trash age. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17:100312.
- [Mattila 2016] Mattila, J. (2016). The blockchain phenomenon. *Berkeley Roundtable of the International Economy*, 16.
- [Mazzei and Noble 2019] Mazzei, M. J. and Noble, D. (2019). Big data and strategy: Theoretical foundations and new opportunities. In *Strategy and Behaviors in the Digital Economy*. IntechOpen.
- [McDonough and Braungart 2010] McDonough, W. and Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North point press.

- [McKinsey 2020] McKinsey (2020). Fashion on climate: How the fashion industry can urgently act to reduce its green house gas emission. <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/fashion-on-climate>. [Online; Acessado em 13-Abril-2021].
- [Mikalef et al. 2019] Mikalef, P., Krogstie, J., Pappas, I. O., and Pavlou, P. (2019). Exploring the relationship between big data analytics capability and competitive performance: The mediating roles of dynamic and operational capabilities. Elsevier.
- [Modgil et al. 2021] Modgil, S., Gupta, S., Sivarajah, U., and Bhushan, B. (2021). Big data-enabled large-scale group decision making for circular economy: An emerging market context. volume 166, page 120607. Elsevier.
- [Moorhouse 2020] Moorhouse, D. (2020). Making fashion sustainable: Waste and collective responsibility. *One Earth*, 3(1):17–19.
- [Mungcharoen et al. 2021] Mungcharoen, T., Varabuntoonvit, V., and Poolsawad, N. (2021). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions for Circular Economy*. Springer.
- [Nakamoto 2008] Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*, page 21260.
- [ONU 2021a] ONU (2021a). Objetivo 12. assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>. [Online; Acessado em 13-Abril-2021].
- [ONU 2021b] ONU (2021b). Objetivos de desenvolvimento sustentável. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. [Online; Acessado em 13-Abril-2021].
- [Potting et al. 2017] Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., and Hanemaaijer, A. (2017). *Circular economy: measuring innovation in the product chain*. Number 2544. PBL publishers.
- [Rajasekaran et al. 2022] Rajasekaran, A. S., Azees, M., and Al-Turjman, F. (2022). A comprehensive survey on blockchain technology. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52:102039.
- [Ramzan et al. 2019] Ramzan, S., Bajwa, I. S., Ramzan, B., and Anwar, W. (2019). Intelligent data engineering for migration to nosql based secure environments. *IEEE Access*, 7:69042–69057.
- [Rani and Saha 2021] Rani, H. and Saha, G. (2021). Organizations and standards related to textile and fashion waste management and sustainability. In *Waste Management in the Fashion and Textile Industries*, pages 173–196. Elsevier.
- [Ranjan 2019] Ranjan, J. (2019). The 10 vs of big data framework in the context of 5 industry verticals. *Productivity*, 59(4).
- [Rashidi et al. 2019] Rashidi, H. H., Tran, N. K., Betts, E. V., Howell, L. P., and Green, R. (2019). Artificial intelligence and machine learning in pathology: the present landscape of supervised methods. *Academic pathology*, 6:2374289519873088.

- [Rogers and Hudson 2011] Rogers, K. and Hudson, B. (2011). The triple bottom line: The synergies of transformative perceptions and practices for sustainability, with barclay hudson, od practitioner (fall 2011). *OD Practitioner*.
- [Russel et al. 2013] Russel, S., Norvig, P., et al. (2013). *Artificial intelligence: a modern approach*. Pearson Education Limited London.
- [SAC 2021] SAC (2021). The higg index. <https://portal.higg.org/>. [Online; Acessado em 28-Junho-2021].
- [Saha et al. 2021] Saha, K., Dey, P. K., and Papagiannaki, E. (2021). Implementing circular economy in the textile and clothing industry. *Business Strategy and the Environment*, 30(4):1497–1530.
- [Sandvik and Stubbs 2019] Sandvik, I. M. and Stubbs, W. (2019). Circular fashion supply chain through textile-to-textile recycling. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*.
- [Sawadogo and Darmont 2021] Sawadogo, P. and Darmont, J. (2021). On data lake architectures and metadata management. *Journal of Intelligent Information Systems*, 56(1):97–120.
- [Sun 2008] Sun, S. (2008). Organizational culture and its themes. *International Journal of Business and Management*, 3(12):137–141.
- [Thorisdottir and Johannsdottir 2019] Thorisdottir, T. S. and Johannsdottir, L. (2019). Sustainability within fashion business models: A systematic literature review. *Sustainability*, 11(8):2233.
- [UNFCC 2018] UNFCC (2018). Earth's annual resources budget consumed in just 7 months. <https://unfccc.int/news/earth-s-annual-resources-budget-consumed-in-just-7-months>. [Online; Acessado em 13-Abril-2021].
- [Ütebay et al. 2020] Ütebay, B., Çelik, P., and Çay, A. (2020). Textile wastes: Status and perspectives. In *Waste in Textile and Leather Sectors*. IntechOpen.
- [Vial 2019] Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*.
- [WIKIRATE 2021] WIKIRATE (2021). Wiki rate. <https://wikirate.org/>. [Online; Acessado em 28-Junho-2021].
- [Yuan and Wang 2018] Yuan, Y. and Wang, F.-Y. (2018). Blockchain and cryptocurrencies: Model, techniques, and applications. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48(9):1421–1428.
- [Zaharia et al. 2016] Zaharia, M., Xin, R. S., Wendell, P., Das, T., Armbrust, M., Dave, A., Meng, X., Rosen, J., Venkataraman, S., Franklin, M. J., et al. (2016). Apache spark: a unified engine for big data processing. *Communications of the ACM*, 59(11):56–65.