

**MESTRADO**  
**CIÊNCIAS EMPRESARIAIS**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
**DISSERTAÇÃO**

**INDÚSTRIA 4.0 E SUSTENTABILIDADE**

**ALEXANDRA FILIPA DE ALMEIDA BENTO BALTAZAR**

**FEVEREIRO DE 2021**

**MESTRADO**  
**CIÊNCIAS EMPRESARIAIS**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
**DISSERTAÇÃO**

**INDÚSTRIA 4.0 E SUSTENTABILIDADE**

**ALEXANDRA FILIPA DE ALMEIDA BENTO BALTAZAR**

**ORIENTAÇÃO:**

**PROFESSOR DOUTOR JOSÉ MANUEL DIAS LOPES**

**FEVEREIRO DE 2021**

## RESUMO

A quarta Revolução Industrial (RI), ou **Indústria 4.0** (I4.0), é um dos temas que domina a atualidade. A I4.0 representa um novo paradigma na criação de valor industrial através de um conjunto de tecnologias que acrescentam valor a todo o ciclo de vida do produto e em todo o domínio da cadeia de abastecimento.

Desde 1987, quando a Organização das Nações Unidas definiu o conceito de desenvolvimento sustentável e mais recentemente quando estabeleceu os objetivos de desenvolvimento sustentável, o tema da Sustentabilidade veio a ganhar notoriedade.

As organizações atuam de forma sustentável quando as suas ações têm em conta as três dimensões do *Triple Bottom Line*: económica, ambiental e social.

Assim, paralelamente à quarta RI, assiste-se a uma mudança de valores. Perante estas mudanças paradigmáticas começam a surgir ou a destacar-se, nomeadamente a nível de produção científica, alguns conceitos inerentes à integração entre ambas as dimensões.

Este estudo tem como principal propósito contribuir para o debate sobre um tema de interesse elevado para a sociedade, governos, organizações e comunidade científica – a relação entre a I4.0 e a Sustentabilidade –, respondendo à questão de investigação: Quais os conceitos dominantes apurados no âmbito do estudo da relação entre I4.0 e Sustentabilidade, numa amostra constituída pelos artigos científicos mais citados?

Os resultados obtidos são palavras relacionadas com a produção, principalmente de natureza industrial (*Industry 4.0, Manufacturing, Production, Industrial, Industry, Supply Chain*); a Sustentabilidade (*Sustainability, Sustainable*) e a sua dimensão ambiental (*Environmental, Energy*); social e humana (*Social, Job*); e económica (*economy, business model, value creation*); As tecnologias (*Technologies, Internet of Things (IoT), Industrial, Big Data & Analytics, Smart, Digital*). Finalmente, um conjunto mais heterogéneo, no qual se destacam conceitos relacionados com a aplicação prática das duas dimensões em estudo e da sua interação (*New, Product, Integration, Challenges, Policy, Impacts e Implementation*).

Salienta-se dos resultados a grande utilização de palavras agrupadas numa dimensão económica (*economy, business model, value creation*). Esta situação indicia o elevado carácter transformacional da Indústria 4.0 não só no que respeita ao modo como se fazem os negócios e ao modo como se cria valor, mas também à economia no seu todo.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; Sustentabilidade; Manufatura; Produção; Tecnologias.

## ABSTRACT

The fourth Industrial Revolution (IR), also known as Industry 4.0 (I4.0), is one of the subjects that domains the present. It represents a new paradigm in terms of industrial value creation through a technologies set, which add value to the entire product life cycle and the supply chain.

Since 1987, when the United Nations Organization defined the concept of sustainable development and, more recently, when established the sustainable development goals, the sustainably subject gained notoriety.

The organizations act sustainably when its actions consider the three dimensions of Triple Bottom Line: economic, environmental, and social.

Therefore, parallelly to the fourth IR, there was a change in society values. Towards this paradigmatic changes, there are certain concepts related with the integration between both dimensions that started highlighting or surging, namely at a scientific production level.

The main purpose of this study is to contribute for the discussion about a subject of high interest for the society, governments, organizations and scientific community – the relation between I4.0 and Sustainability, answering the investigation question: Which are the dominant concepts in a sample constituted by the most cited scientific articles?

The results are words related with production, mainly of industrial nature (Industry 4.0, Manufacturing, Production, Industrial, Industry, Supply Chain); Sustainability (Sustainability, Sustainable), its environmental dimension (Environmental, Energy), human and social dimension (social, Job); and economic dimension (economy, business model, value creation); Technologies (Technologies, Internet of Things (IoT), Industrial, Big Data & Analytics, Smart, Digital). Finally, a heterogeneous group, in which there are highlighting concepts related with the practical application of both dimensions being studied (*New, Product, Integration, Challenges, Policy, Impacts, and Implementation*).

The results show the wide use of words grouped in an economic dimension (economy, business model, value creation). This situation points to the high transformational character of Industry 4.0, not only in the way businesses are managed and companies generate value, but also in the economy as a whole.

**Key-words:** Industry 4.0; Sustainability; Manufacturing; Production; Technologies.

## AGRADECIMENTOS

Expresso a minha profunda gratidão ao Professor Doutor José Dias Lopes pela sua preciosa orientação, por todo o tempo concedido, motivação e dedicação. Revelou-se incansável e motivador em todas as fases deste trabalho.

De igual forma, agradeço aos meus colegas de mestrado, em particular, à Bárbara Almeida, à Sara Ramos e ao Rui Branco, pela partilha de conhecimentos, camaradagem e convívios ao longo desta caminhada.

Agradeço aos meus queridos pais, família, e amigos próximos por todo o apoio, motivação e inspiração, em especial ao Rafael Almeida pela ajuda na elaboração dos gráficos.

Ao meu querido Enéias que eleva o significado de companheirismo em todas as horas.  
A toda a equipa da Massagesport pela generosidade, compreensão e flexibilidade.

## ÍNDICE

Resumo .....	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos .....	iii
Índice .....	iv
Lista de Figuras .....	v
Lista de Tabelas .....	v
Glossário de termos e abreviaturas .....	vi
1. Introdução.....	1
2. Revisão de literatura.....	3
2.1. As quatro revoluções industriais.....	3
2.2. Indústria 4.0 .....	5
2.3. Sustentabilidade .....	7
2.4. Indústria 4.0 e Sustentabilidade .....	8
2.5. Síntese e propósito do estudo.....	11
3. Metodologia .....	12
4. Apresentação e análise dos resultados .....	18
4.1. Caracterização da amostra .....	18
4.2. Apresentação dos resultados.....	20
4.3. Análise dos resultados .....	22
5. Conclusões e recomendações .....	34
5.1. Principais conclusões.....	34
5.2. Limitações e pesquisa futura .....	36
Referências bibliográficas .....	37
Anexo I - Referências dos artigos incluídos e excluídos da amostra .....	41
Anexo II - Ordenação e número de citações dos artigos da amostra.....	44
Anexo III - Aplicação dos critérios para tratamento dos dados obtidos na amostra .....	45
Anexo IV - Agrupamentos e palavras incluídas em cada agrupamento.....	49

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Modelo conceptual da investigação. ....	12
FIGURA 2 - Fluxograma da metodologia adotada. ....	17
FIGURA 3 – Distribuição da amostra por ano .....	18
FIGURA 4 - Distribuição geográfica da amostra .....	19
FIGURA 5 - Conceitos Apurados e respetiva frequência em número de artigos e total.	20
FIGURA 6 - Modelo conceptual da investigação .....	32
FIGURA 7 - Conceitos apurados e palavras incluídas na sua formação.....	33

## LISTA DE TABELAS

TABELA I - Lista de oportunidades e riscos para a dimensão “economia” na I4.0 .....	9
TABELA II - Lista de oportunidades e riscos para a dimensão "ambiente" na I4.0 .....	10
TABELA III - Lista de oportunidades e riscos para a dimensão "social" na I4.0.....	10
TABELA IV - Equações de pesquisa testadas .....	13
TABELA V - Artigos excluídos da amostra e observações .....	14
TABELA VI - Conceitos apurados .....	21
TABELA VII – Distribuição dos conceitos pela amostra .....	22
TABELA VIII – Ordenação e número de citações dos artigos da amostra.....	44
TABELA IX – Aplicação dos critérios C3 a C5 .....	45
TABELA X – Aplicação do critério C6 .....	46
TABELA XI - Agrupamentos e palavras incluídas em cada agrupamento.....	49

## GLOSSÁRIO DE TERMOS E ABREVIATURAS

CE – *Circular Economy*

ERP - *Enterprise resource Planning*

I4.0 - Indústria 4.0

IIOT - *Industrial Internet of Things*

IR – *Industrial Revolution*

ONU - Organização das Nações Unidas

RI - Revolução Industrial

TBL - *Triple Bottom Line*

TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação

UE - União Europeia

UNIDO - *United Nations Industrial Development Organization*



## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento deste trabalho tem como objetivo apurar quais os conceitos mais frequentes e relevantes no estudo da relação entre a Indústria 4.0 e a Sustentabilidade entre os artigos mais citados.

A quarta Revolução Industrial (RI), ou **Indústria 4.0** (I4.0), é um dos temas que domina a atualidade (Frank, Dalenogare & Ayala, 2019). À semelhança das RIs precedentes, considera-se que a I4.0 representa um novo paradigma na criação de valor industrial, nomeadamente através da tecnologia, inteligência artificial e transformação digital (Birkel, Veile, Müller, Hartmann & Voigt, 2019).

O processo de globalização a que se assiste, defronta-se com o desafio de corresponder ao permanente crescimento a nível mundial da procura de bens de produção e consumo, enquanto se assegura o desenvolvimento sustentável da existência humana na sua dimensão social, ambiental e económica (Manavalan & Jayakrishna, 2019). De forma a enfrentar essa dificuldade a criação de valor industrial deverá integrar o conceito de **Sustentabilidade** (Stock & Seliger, 2016).

De referir ainda que, é considerado cada vez menos aceitável que uma organização se foque apenas na maximização do seu desempenho económico, sem que incorpore políticas de responsabilidade social e ambiental. A Sustentabilidade, através da abordagem *Triple Bottom Line* (TBL) que sugere um equilíbrio entre as dimensões económica, social e ambiental, é cada vez mais uma prioridade em qualquer indústria (McWilliams, Parhankangas, Coupet, Welch & Barnum, 2016; Stock, Obenaus, Kunz & Kohl, 2018).

A literatura disponível tende a explorar o tema da I4.0 sob uma perspetiva técnica, existindo poucos artigos que se dediquem à sua relação com a Sustentabilidade. Desses artigos, poucos abordam as três dimensões do TBL (Müller, Kiel & Voigt, 2018). Por outro lado, uma breve análise da literatura dedicada ao impacto da quarta revolução industrial nas dimensões da Sustentabilidade, permite perceber que os dados relatados são ainda considerados incertos ou, por vezes, contraditórios.

Os aspetos anteriormente referidos justificam a pertinência do presente estudo. A sua realização pretende contribuir para a literatura, aferindo quais os conceitos inerentes à relação da I4.0 e Sustentabilidade. Para tal, a metodologia utilizada será a análise de conteúdos com dados qualitativos e quantitativos, selecionada com o intuito de poder

caracterizar a amostra e alcançar uma categorização, descrição e interpretação, o mais abrangentes possível.

Através da realização deste trabalho, espera-se mapear os principais conceitos associados aos temas em estudo, clarificando quais aqueles que têm dominado os mais relevantes estudos até agora publicados.

No que diz respeito à sua estrutura, este trabalho é constituído por cinco capítulos. No primeiro, a Introdução, foi explicado qual o objetivo do mesmo e que conceitos principais serão alvo de estudo. O segundo capítulo corresponde à Revisão de Literatura, no qual se partilhará a informação fundamentada acerca dos subtítulos em que se encontra dividido: “As Quatro Revoluções Industriais”; “Indústria 4.0”; “Sustentabilidade”, “Indústria 4.0 e Sustentabilidade”. Este capítulo termina com a “Síntese e Propósito do Estudo”. No terceiro capítulo será justificada e descrita a metodologia adotada. O quarto capítulo consiste na apresentação e análise dos resultados. Finalmente, o quinto capítulo descreve as principais conclusões e recomendações deste estudo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão abordadas as duas dimensões em estudo, de acordo com base nos conteúdos das referências consultadas através dos subtemas: “As Quatro Revoluções Industriais”, “Indústria 4.0”, “Sustentabilidade” e “Indústria 4.0 e Sustentabilidade”. Por fim foi realizada uma síntese do exposto e referido o propósito do estudo.

### 2.1. *As Quatro Revoluções Industriais*

A evolução constante da ciência e tecnologia tem contribuído de forma determinante para a industrialização a nível global (Liao, Deschamps, Loures & Ramos, 2017; Bibby & Dehe, 2018). Este aspeto, ampliou a competitividade e o número e tipo de clientes, levando a que as exigências e especificidades em relação ao produto e ao seu ciclo de vida sejam imprevisíveis e que, portanto, as empresas se façam valer das evoluções tecnológicas para corresponder à procura, produzir as quantidades necessárias, de forma customizada e ao mais baixo custo possível (Bibby & Dehe, 2018).

A *Engineering Employers' Federation – The Manufacturers' Organisation* (2016, citado por Bibby & Dehe, 2018) considera que este cenário é irrevogável e corresponde à próxima RI que assenta na transformação digital de absolutamente todo o processo de manufatura.

Embora não exista consenso em relação ao que constitui uma RI, no que concerne a uma perspetiva tecnológica, são comumente considerados quatro estágios. As três primeiras revoluções ocorreram ao longo de cerca de dois séculos e tiveram em comum a transição do trabalho humano para o trabalho realizado por maquinaria (Liao *et al.*, 2017; Stock *et al.*, 2018).

A primeira RI teve início no final do século XVIII e princípio do século XIX, período em que surgiu a utilização de sistemas mecânicos com recurso à energia da água e do seu vapor. A segunda RI começou no final do século XIX e foi marcada pela produção massiva através da utilização de energia elétrica. Quando à terceira RI, iniciou-se a meio do século XX e introduziu a tecnologia microeletrónica e robótica e a tecnologia de informação e comunicação (TIC). Estas tecnologias viriam a suportar o surgimento da automatização enquanto ferramenta poderosa para a indústria (Xu, Xu & Li, 2018; Liao *et al.*, 2017, Stock *et al.*, 2018).

Deste modo, o futuro das empresas de manufatura foi transformado pelo desenvolvimento de um ambiente de predomínio cada vez mais digital, no qual as cadeias

de valor e de abastecimento estão interligadas e os sistemas são cada vez mais inteligentes, autónomos, integrados e automatizados. Estes avanços tecnológicos pretendem agilizar a eliminação de custos desnecessários de produção, aumentar a sua capacidade e reduzir os seus tempos, assegurando a qualidade dos produtos (Bibby & Dehe, 2018; Stock *et al.*, 2018).

A quarta RI, surge devido à tendência para a prevalência dessas tecnologias de automação na indústria manufatureira. Embora a terceira RI já se focasse na automação de processos e máquinas, foi na quarta RI que se assistiu ao recurso dos mesmos em todas as atividades da cadeia de valor, através da integração de ecossistemas digitais industriais que viabilizam soluções integradas (Xu *et al.*, 2018; Liao *et al.*, 2017).

Ao fazer uma comparação entre as restantes revoluções industriais e a quarta, Schuch *et al.* (2014, citado por Bibby & Dehe, 2018) argumentava que esta tem maior impacto em toda a cadeia de valor, maximizando o desempenho de produtividade, eficiência, inovação, criatividade, flexibilidade e sustentabilidade.

Por seu turno, as RI anteriores tiveram impacto em atividades concretas no processo de fabrico, que não se repercutiram necessariamente em funções como as de *design*, engenharia, cadeia de abastecimento ou *marketing*. Desta forma, os processos rígidos de automatização, desenvolvidos na terceira RI, têm vindo a ser superados na sua complexidade e flexibilidade, à medida que se implementa a nova revolução (Stock *et al.*, 2018).

Um pouco por todo o mundo, os governos despertaram para esta tendência e reagiram de forma a beneficiar com o que a nova RI poderia proporcionar. Assim, a partir do ano de 2011 em diante, França, Reino Unido, Coreia do Sul, China, Japão, Singapura, mas principalmente Alemanha, União Europeia (UE) e Estados Unidos da América, anunciaram grandes investimentos e iniciativas com vista a acompanhar e contribuir para o desenvolvimento da revolução industrial a que se assistia (Liao *et al.*, 2017; Birkel, *et al.*, 2019; Müller & Voigt, 2018).

Foi aliás, no ano de 2011, durante a Feira de Hannover, que o termo “Indústria 4.0” foi abordado pela primeira vez. Os pioneiros no desenvolvimento do tema foram os investigadores Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas, e Wolfgang Wahlster na procura de estratégias para manter a competitividade económica da Alemanha após a crise de 2008 e assegurar a sua posição como uma das nações líderes na indústria de

manufatura. Posteriormente, no ano de 2013, o termo *Industrie 4.0* viria a ser oficialmente apresentado, através de um manifesto publicado pela Academia Nacional de Ciência e Engenharia Alemã, como uma iniciativa estratégica daquele governo (Stock & Seliger, 2016; Xu *et al.*, 2018; Frank *et al.*, 2019; Bibby & Dehe, 2018; Stock *et al.*, 2018; Müller & Voigt, 2018).

Também as empresas, os centros de pesquisa e universidades contribuíram para o desenvolvimento e produção de conteúdo experimental e artigos sobre a temática. Embora um dos primeiros artigos a referir o conceito de “quarta RI” tenha surgido em 1988 (Rostow, citado por Liao *et al.*, 2017), foi a partir do ano de 2013 que as conferências e publicações acadêmicas subordinadas ao tema começaram a surgir de forma exponencial. Estes aspetos representaram forças sinérgicas para o estabelecimento da quarta RI, tornando-a num dos tópicos mais frequentemente abordados nos últimos anos (Liao *et al.*, 2017).

## 2.2. Indústria 4.0

Devido à abrangência e fase em que se encontra, não existe uma definição consensual para o termo “Indústria 4.0” (Birkel *et al.*, 2019). A literatura consultada permite perceber que se trata de uma abordagem estratégica que, através do recurso a inovações tecnológicas recentes, converge sistemas de informação e comunicação (Manavalan & Jayakrishna, 2019).

Este conceito representa o novo estágio da indústria, repercutindo-se nos sistemas de manufatura ao integrar um conjunto de tecnologias emergentes e convergentes que acrescentam valor a todo o ciclo de vida do produto. Implica uma evolução do papel humano nos sistemas de produção, nos quais todas as atividades da cadeia de valor serão desenvolvidas segundo abordagens *smart* e com base nas TIC (Frank *et al.*, 2019; Birkel, *et al.*, 2019; Kayikci, 2018). Estas podem facilitar todos os processos desde a compra das matérias-primas até à venda ao cliente baseadas nos serviços de *Enterprise Resource Planning* (ERP) (Manavalan & Jayakrishna, 2019).

Assiste-se à fusão entre o mundo virtual e físico, através da transferência de dados entre pessoas e objetos em toda a cadeia de valor (Frank *et al.*, 2019; Birkel, *et al.*, 2019; Kayikci, 2018).

A quarta revolução industrial está na origem da disrupção digital a que se assiste e interliga recursos, serviços e pessoas (Manavalan & Jayakrishna, 2019). Assenta na

adoção de tecnologias digitais que, em tempo real, reúnem e analisam dados, produzindo informação de modo a conduzir todo o sistema de manufatura. Por este motivo a I4.0 é também conhecida por *Industrial Internet of Things* (IIoT) (Birkel *et al.*, 2019; Müller & Voigt, 2018) e através dela assiste-se a uma transformação das fábricas tradicionais em fábricas *smart* (*smart factories*).

As fábricas *smart* desenvolvem a sua atividade conciliando objetivos de produção em tempo real e total transparência com os fornecedores e clientes, quantidades variáveis e ajustáveis de produção, múltiplas variantes do mesmo produto através da sua customização, processos descentralizados e autónomos (embora interligados) (Kayikci, 2018; Frank *et al.*, 2019).

A I4.0 goza de uma abrangência que se reflete na sua aplicabilidade, não apenas na indústria de manufatura, mas também, por exemplo, na produção mineira, logística, cadeia de abastecimento alimentar, saúde, *e-commerce*, gestão de energia, construção, vestuário, etc. (Manavalan & Jayakrishna, 2019).

A I4.0 baseia-se em quatro elementos-chave que facilitam a sua implementação: tecnologia, processos, organização e conhecimento (Kayikci, 2018), e caracteriza-se por seis princípios: virtualização, interoperabilidade, descentralização, capacidade em tempo real, modularização e orientação para o serviço (Manavalan & Jayakrishna, 2019; Carvalho, Chaim, Cazarini & Gerolamo, 2018).

As tecnologias de vanguarda que caracterizam a I4.0 são bastantes e correspondem a sistemas complexos e evoluídos. Na literatura, os mais frequentemente nomeados e descritos são: Manufatura aditiva ou impressão 3D; Sistemas *Cloud*; Sistemas de execução de manufatura; *Internet of Things* (IoT); Sistemas Ciber-físicos; *Big data* e *Analytics*; Sensores e Robótica (Bibby & Dehe, 2018; Braccini & Margherita, 2018; Kayikci, 2018; Stock *et al.*, 2018; Frank *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2018; Müller & Voigt, 2018).

Os processos de digitalização patentes na I4.0 caracterizam-se por cooperação, conectividade, adaptabilidade, integração e controlo autónomo e cognição (inteligência artificial) (Kayikci, 2018).

O paradigma da I4.0 implica uma integração horizontal e vertical na cadeia de valor, engenharia de “ponta-a-ponta” ao longo do ciclo de vida do produto e em todo o domínio

da cadeia de abastecimento, bem como gera novos e disruptivos modelos de negócio (Xu *et al.*, 2018; Stock & Seliger, 2016).

### 2.3. Sustentabilidade

Em 1987, através do relatório Brundtland, a Organização das Nações Unidas (ONU) contribuiu decisivamente para a implementação do conceito de desenvolvimento sustentável definindo-o como “o desenvolvimento que vai de encontro às necessidades sentidas no presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades” (ONU, 1987).

A partir dessa altura, a Sustentabilidade começou a ser um tema progressivamente popular entre as organizações, meio académico e sociedade global. Mais recentemente, em 2015 a ONU desenvolveu 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável assentes em cinco principais categorias: Pessoas; Planeta; Prosperidade; Paz; e Parceria. Esses objetivos integram a Agenda 2030 e todos os países e *stakeholders* devem tentar atingi-los de forma colaborativa (ONU, 2015).

O crescimento da população global e da iniquidade socioeconómica, as alterações climáticas, a degradação ambiental, a urbanização, a poluição e a crescente escassez de recursos naturais são algumas das motivações para que a Sustentabilidade seja cada vez mais uma preocupação à escala mundial e em particular para a indústria (Braccini & Margherita, 2018).

Considera-se que as organizações atuam de forma sustentável quando as suas ações têm em conta os três pilares do TBL. O termo TBL reflete precisamente o carácter multidimensional da Sustentabilidade e refere-se a três dimensões interdependentes: económica, ambiental e social. O sucesso económico de uma empresa revela-se nomeadamente através do seu lucro e liquidez, assegurando a sua existência, da sua capacidade de criar valor e equilibrar os custos e receitas. Preocupa-se, portanto com o desempenho financeiro e económico da organização. Sob o ponto de vista ecológico, a empresa deve utilizar recursos renováveis, reduzir os desperdícios, reciclar e produzir emissões que não causem impacto no ecossistema natural. A perspetiva social inclui as ações económicas que respeitem o capital humano, a satisfação dos colaboradores no trabalho e a sua qualidade de vida, integração social nas comunidades, solidariedade,

equidade e justiça na distribuição de bens e serviços e oportunidades educacionais iguais (Birkel *et al.*, 2019; Braccini & Margherita, 2018).

Embora o ideal seja um equilíbrio na interação entre estas três dimensões, poderá assistir-se a uma sobreposição ou conflito entre os princípios das mesmas. O TBL requer uma visão holística sobre as suas três dimensões, para que daí se retirem verdadeiros benefícios para a sociedade (Müller & Voigt, 2018).

A maioria dos estudos em relação à I4.0 aborda aspetos técnicos ou individuais das tecnologias inerentes, deixando de parte o seu impacto a outros níveis. À semelhança de tantos outros temas relacionados com a I4.0, os efeitos da mesma na dimensão da Sustentabilidade ainda não foram amplamente escrutinados, existindo opiniões contrárias entre os vários intervenientes. Crê-se, contudo, que o ajuste e equilíbrio das dimensões do TBL têm um papel crucial na adoção e difusão das tecnologias da I4.0 (Birkel *et al.*, 2019; Müller & Voigt, 2018).

Müller & Voigt (2018) referem que ganhos a nível económico poderão ser ampliados quando, ao implementar novas tecnologias, se promovam de igual forma perspetivas ecológicas e sociais. Assim, a IIoT, assistida pela inteligência artificial poderá potenciar o TBL, embora acompanhada de vários desafios, nomeadamente na fase inicial da mesma.

#### *2.4. Indústria 4.0 e Sustentabilidade*

Ao contrário das três RIs precedentes, espera-se que a I4.0 implique não só transformações a nível industrial, como na própria sociedade, através da criação de valor industrial sustentável, favorecendo novos modelos de negócio, conetividade entre as pessoas e gestão do desperdício (Müller & Voigt, 2018; Habib & Chimsom I., 2019).

A intensa solicitação do sistema industrial e a simultânea preocupação com a Sustentabilidade é um dos desafios económicos atuais (Manavalan & Jayakrishna, 2019). Para além disso, as preocupações ambientais, de saúde e segurança têm levado a um apelo às práticas sustentáveis pelas organizações que recorrem à I4.0 (Habib & Chimsom I., 2019).

Os sistemas de manufatura sustentáveis suscitam a mudança de uma economia linear para um modelo circular, no qual os recursos são eficientemente utilizados e se verifica redução do desperdício através da reciclagem, remanufatura e recuperação de materiais.



Estes sistemas representam um caminho para o desenvolvimento sustentável (Franciosi, Iung, Miranda & Riemma, 2018).

A interdependência entre aspectos do âmbito económico, ambiental e social sugere que as três dimensões da Sustentabilidade devam ser tidas em conta aquando da tomada de decisões estratégicas e organizacionais durante a implementação da I4.0 e que as organizações e países devem ter em conta os objetivos de desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 (Birkel et al., 2019).

Considerando a relação da I4.0 e Sustentabilidade, Habib & Chimsom I. (2019) apontam um sétimo princípio da nova revolução industrial – o *ecodesing* –, que consiste em desenvolver tecnologias tendo em conta os seus impactos a nível ambiental de forma a assegurar a manufatura sustentável.

Nas Tabelas I, II e III é possível perceber quais as oportunidades (lado esquerdo) e riscos (lado direito) referidos nos artigos analisados na revisão de literatura, em relação às três dimensões do TBL.

TABELA I - Lista de oportunidades e riscos para a dimensão “economia” na I4.0

Dimensão “Economia”			
Oportunidade	Referência	Risco	Referência
Novos modelos de negócio	Stock <i>et al.</i> , 2018 Müller & Voigt, 2018; Stock & Seliger, 2016	Investimentos elevados e arriscados	Müller & Voigt, 2018; Birkel <i>et al.</i> , 2019
Diminuição dos custos de logística	Kayikci, 2018; Müller & Voigt, 2018	Receitas imprevisíveis	Müller & Voigt, 2018
Diminuição dos tempos e distâncias de entrega	Kayikci, 2018; Müller & Voigt, 2018; Braccini & Margherita, 2018;	Perda de posição no mercado	
Diminuição do número de perdas e danos de produtos	Manavalan & Jayakrishna, 2019		
Melhor previsão da procura	Kayikci, 2018; Braccini & Margherita, 2018	Transformações dos Modelos de Negócio	Birkel <i>et al.</i> , 2019
Aumento da eficiência	Manavalan & Jayakrishna, 2019		
Otimização do inventário	Braccini & Margherita, 2018; Manavalan & Jayakrishna, 2019	Amortizações longas e imprevisíveis	
Transparência económica	Müller & Voigt, 2018	Aumento da competitividade	
Aumento do EBITDA ( <i>Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization</i> )	Braccini & Margherita, 2018	Dependência de alguns fornecedores	
Aumento das vendas			
Aumento do lucro líquido			

Fonte: Elaboração própria

TABELA II - Lista de oportunidades e riscos para a dimensão "ambiente" na I4.0

<b>Dimensão “Ambiente”</b>			
<b>Oportunidade</b>	<b>Referência</b>	<b>Risco</b>	<b>Referência</b>
Diminuição das emissões de CO <sub>2</sub> e outros gases poluentes	Kayikci, 2018; Braccini & Margherita, 2018	Aumento do consumo de energia	Stock <i>et al.</i> , 2018; Birkel <i>et al.</i> , 2019
Reutilização de materiais			
Diminuição do desperdício	Kayikci, 2018; Müller & Voigt, 2018	Diminuição da eficiência energética	Stock <i>et al.</i> , 2018
Aumento da reciclagem			
Diminuição da poluição	Kayikci, 2018; Stock <i>et al.</i> , 2018	Aumento da poluição	Birkel <i>et al.</i> , 2019
Aumento do consumo de energias renováveis	Stock <i>et al.</i> , 2018		
Diminuição do consumo de energias não renováveis	Kayikci, 2018; Müller & Voigt, 2018; Braccini & Margherita, 2018		
Diminuição da pegada ecológica	Müller & Voigt, 2018		
Diminuição do consumo de água	Stock <i>et al.</i> , 2018 Braccini & Margherita, 2018		

Fonte: Elaboração própria

TABELA III - Lista de oportunidades e riscos para a dimensão "social" na I4.0

<b>Dimensão “Social”</b>			
<b>Oportunidade</b>	<b>Referência</b>	<b>Risco</b>	<b>Referência</b>
Melhores condições de trabalho	Kayikci, 2018; Stock <i>et al.</i> , 2018	Diminuição de postos de trabalho	Müller & Voigt, 2018; Stock <i>et al.</i> , 2018 Birkel <i>et al.</i> , 2019
Saúde		Impacto na estrutura organizacional e modelos de liderança	
Segurança no trabalho	Kayikci, 2018; Stock <i>et al.</i> , 2018; Braccini & Margherita, 2018	Resistência à mudança e à nova cultura organizacional	Birkel <i>et al.</i> , 2019
		Necessidade de formação	
		Stress no trabalho	
Remunerações mais justas	Müller & Voigt, 2018	Défice de pessoal qualificado	
Aprendizagem facilitada pela inteligência artificial	Stock <i>et al.</i> , 2018 Müller & Voigt, 2018; Braccini & Margherita, 2018	Recolocação física de fábricas	
Aumento da satisfação no trabalho			
Novas oportunidades e perfis de trabalho	Müller & Voigt, 2018; Braccini & Margherita, 2018 Xu <i>et al.</i> , 2018		
Diminuição do trabalho infantil	Stock <i>et al.</i> , 2018		
Mais segurança no trabalho			

Fonte: Elaboração própria

### 2.5. Síntese e Propósito do Estudo

Concretamente em relação ao conjunto de artigos analisados na revisão de literatura pode aferir-se que nos encontramos perante a quarta RI, fruto do desenvolvimento tecnológico. Embora não se assista ao mesmo nível de mudança e de maturidade em todos os países e organizações, o mundo encontra-se em mais uma fase de disrupção tecnológica, o que acarreta desafios e oportunidades a vários níveis.

Simultaneamente, e também à escala global, a sociedade persegue cada vez mais valores relacionados com a Sustentabilidade nas três dimensões do TBL e as preocupações com os objetivos de desenvolvimento sustentável influenciam as decisões das organizações, muito em parte devido às pressões dos *stakeholders* e consumidores.

Assiste-se, portanto, a uma mudança de valores ao mesmo tempo que se desenvolve a quarta RI. Perante estas mudanças paradigmáticas, naturalmente começam a destacar-se, nomeadamente a nível de produção científica, existentes ou eventualmente novos conceitos.

Este estudo tem como principal propósito contribuir para o debate sobre um tema de interesse elevado para a sociedade, governos, organizações e comunidade científica – a relação entre a Indústria 4.0 e a Sustentabilidade.

### 3. METODOLOGIA

Através da revisão da literatura foi possível perceber que os conceitos “Indústria 4.0” e “Sustentabilidade” são amplamente estudados e de elevado interesse para as organizações, países e sociedade global, existindo vários tipos de estudos aplicados a diversas indústrias e setores de atividade. Embora a sua pertinência seja indiscutível, nos estudos dedicados à relação entre ambas as dimensões, não são claros quais os conceitos mais relevantes e que importam ter em conta no que toca à sua associação.

Face ao exposto, formulou-se a seguinte questão de investigação à qual se tentará responder através do desenvolvimento deste trabalho: Quais os conceitos apurados no âmbito do estudo da relação entre Indústria 4.0 e Sustentabilidade numa amostra constituída pelos artigos científicos mais citados?

O modelo conceptual utilizado para sumarizar o foco desta investigação pode ser observado na Figura 1.

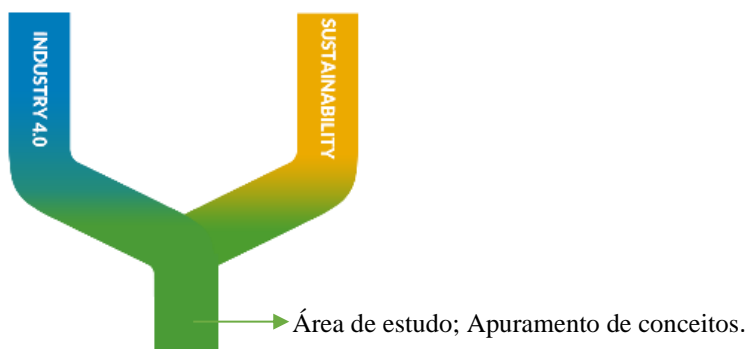


FIGURA 1 - Modelo conceptual da investigação.

Fonte: Elaboração própria.

A metodologia selecionada foi a análise de conteúdos. Este tipo de metodologia pode ser considerado como um conjunto de técnicas, qualitativas ou quantitativas, utilizadas com o objetivo de inferir de forma sistemática, credível, válida e replicável, a partir de textos e outras formas de comunicação (Drisko & Maschi, 2016, p. 2). Neste caso, recorrer-se-á a uma abordagem mista devido ao facto de parte do estudo ser de cariz quantitativo e outra parte qualitativo. Este aspeto permitirá formular diferentes perspetivas em relação ao âmbito do estudo.

Para obtenção da amostra optou-se pelo indicador de desempenho *h-index* (ou *Hirsch index*) (Ronda-Pupo & Guerras- Martin, 2012; Xu & Ma, 2020). Com base no número de publicações e do seu número de citações, este parâmetro proposto por Jorge Hirsch,

incorpora a quantidade e a visibilidade das mesmas de um determinado investigador. No entanto, esta métrica pode aplicar-se também a um conjunto de publicações como é o caso do objeto deste estudo (Bornmann & Daniel, 2007).

A elaboração deste estudo compreende três fases que corresponderam à obtenção da amostra, ao tratamento de dados e por fim, à obtenção de resultados.

A primeira fase do estudo procurou aferir qual a equação de pesquisa mais adequada para obtenção da amostra final. Deste modo, no dia 12/05/2020 foram testadas na base de dados *Scopus* as possíveis equações de forma a perceber qual delas obteria maior *h-index*.

A pesquisa realizada conjugou sinónimos de *Industry 4.0* com a palavra *Sustainability* através da expressão booleana AND. Os termos foram pesquisados no título do artigo, resumo ou palavras-chave do mesmo. Foram selecionados os tipos de documentos artigo, artigo de conferência, revisão e revisão de conferência, num intervalo temporal de dez anos (2010-2020). Na Tabela IV é possível observar as pesquisas realizadas, o número de documentos obtidos e o respetivo *h-index*.

TABELA IV - Equações de pesquisa testadas

Equação de Pesquisa		Nº total de documentos	<i>h-index</i> 2010-2020	Nº de artigos abrangidos pelo <i>h-index</i>	
<i>Sustainability</i>	AND	<i>Industry 4.0</i>	386	27	29 (excluíram-se 4 artigos)
			382	26	26
		<i>Industrie 4.0</i>	8	6	6
		<i>Industrial Internet of Things</i>	105	17	18
		<i>Fourth Industrial Revolution</i>	78	11	12

Fonte: Elaboração própria

Pode observa-se que a equação de pesquisa “*Sustainability AND Industry 4.0*” foi a equação com maior *h-index*, tendo sido a selecionada para desenvolver o estudo e assim prosseguir para segunda fase da metodologia.

Conforme se pode observar na Tabela IV, através da equação de pesquisa com os termos *Industry 4.0* e *Sustainability* obteve-se 386 artigos e um *h-index* de 27. Tal significa que dos 386 artigos obtidos, 29 tinham no mínimo 27 citações. Ao analisar-se essa amostra excluíram-se 4 artigos que, para o objetivo deste trabalho, correspondem a falsos positivos. Trata-se de artigos que não abordam as dimensões em estudo, justificando a sua eliminação, após a qual o *h-index* passou a ser de 26. Na Tabela V é possível observar a referência dos artigos excluídos, respetivo número de citações e

observação sobre o motivo pelo qual terão sido excluídos. As referências bibliográficas dos artigos excluídos podem ser consultadas no Anexo I.

TABELA V - Artigos excluídos da amostra e observações

Referência	Nº citações	Observação sobre exclusão
Schader <i>et al.</i> (2015)	82	Trata-se de um artigo que estuda a indústria alimentar, no entanto não aborda nenhum dos conceitos em estudo no título, resumo e palavras-chave. Provavelmente foi incluído na amostra por conter “ <i>sustainable intensification</i> ” como uma das palavras-chave e/ou porque na primeira página contém um link onde surge “4.0”.
Springmann <i>et al.</i> (2018)	69	Embora se dedique ao impacto a nível ambiental das estratégias de dieta sustentável na indústria alimentar, não aborda diretamente o tema da Indústria 4.0. Aparentemente terá surgido na amostra pois na sua página inicial “4.0” surge no âmbito da licença de cópia.
Ofori-boateng & Lee (2013)	37	Provavelmente foi incluído na amostra pois no resumo surge “4.0” não no contexto da indústria 4.0, mas no seguinte excerto: “ <i>About 17–65 kg of carotenoids, 0.1–60 kg phenolic compounds, 0.6–39 kg sterols and 4.0–62 kg tocopherols could be extracted from.</i> ”
Amosa (2015)	29	Provavelmente foi incluído na amostra pois no resumo surge “4.0” não no contexto da 4.0 mas no seguinte excerto: “ <i>The pyrolysis was carried out at 900 °C and steam flow rates of 2.0 mL/min, 4.0 mL/min, 6.0 mL/min, 8.0 mL/min and 10.0 mL/min for 15 min activation time.</i> ”

Fonte: Elaboração própria

Com esta eliminação, a amostra passou a ser constituída por 26 artigos que tinham pelo menos 26 citações cujas referências bibliográficas podem ser consultadas no Anexo I. Para efeito de tratamento de dados, as publicações foram numeradas de 1 a 26 por ordem decrescente do número de citações que apresentavam na base de dados *Scopus*. Essa equivalência numérica pode ser consultada no Anexo II.

Na segunda fase da metodologia procedeu-se ao tratamento dos dados obtidos através da amostra. Deste modo, extraíram-se as palavras dos títulos, resumo e palavras-chave dos 26 artigos para um documento *Microsoft Word* tendo-se obtido 5518 palavras.

Aplicou-se o primeiro critério (C1) no qual se estabeleceu que as palavras cuja junção originasse termos ou expressões, ficariam unidas. Segundo esse princípio, definiu-se que não se separariam as palavras iniciadas por maiúsculas no meio de uma frase, dando origem a uma expressão com ou sem abreviatura/sigla explícita, palavras entre ‘ ’ e ‘ ’’ ou itálico e palavras entre hífen e ‘/’. De igual modo, as palavras-chave mantiveram-se unidas com exceção das seguintes: *Value creation assessment* (artigo 10); *Industry 4.0 challenges* (artigo 7); *Sustainability revolution* (artigo 17); *Sustainability impact* (artigo 23); *Cross-strait sustainability development* (artigo 26). Para além disso, definiu-se que não se separariam as palavras cuja sequência desse nitidamente origem a expressões

relevantes para o estudo em causa (tal como foi feito por Ronda-Pupo & Guerras-Martin, 2012).

A aplicação do critério C1 reduziu o número de palavras para 4849. Esta lista foi exportada para o *Microsoft Excel* onde se eliminou as palavras repetidas e contabilizou a frequência de cada uma.

Para efeitos de contabilização da frequência das palavras estabeleceu-se mais cinco critérios durante esse processo, a saber:

C2 - As abreviaturas entre parênteses precedentes da expressão que lhes dá origem não foram contabilizadas evitando dupla contabilização da palavra em questão (tal como foi feito por Muñoz-Leiva, Porcu & Barrio-Garcia, 2015; Muñoz-Leiva, Porcu, & Barrio, 2015);

C3 - As siglas foram contabilizadas nas respetivas palavras por extenso (tal como foi feito por Muñoz-Leiva et al., 2015);

C4 - Estabeleceu-se equivalência entre termos com ligeiras variações ortográficas (tal como foi feito por Qin, 2000; Liu, Hong & Liu, 2012);

C5 - Procedeu-se à uniformização singular/plural (89 pares de palavras) (tal como foi feito por Qin, 2000; Khaldi & Prado-Gásco, 2020; Muñoz-Leiva et al., 2015; Zhang, Zhang, Yu & Zhao, 2015);

C6 - Agruparam-se as palavras com a mesma raiz ou significado (tal como foi feito por Khaldi & Prado-Gásco, 2020; Xu & Ma, 2020; Zhang *et al.*, 2015).

No Anexo III é possível observar as alterações realizadas com base nos critérios anteriormente referidos e cuja aplicação permitiu obter uma lista de 1033 palavras.

Deu-se início à terceira e última fase da metodologia, que permitiu alcançar os resultados e que correspondeu à eliminação das palavras de acordo com os seguintes critérios:

C7 - Eliminação de palavras com 1 carácter. Foram eliminadas 3 palavras.

C8 - Eliminação dos números ordinais e nominais bem como percentagens. Foram eliminadas 25 palavras.

C9 - Eliminação de palavras com 2 caracteres exceto as siglas. Foram eliminadas 17 palavras.

C10 - Eliminação de abreviaturas. Foram eliminadas 4 palavras.

C11 - Eliminação das conjunções, preposições, advérbios e pronomes, exceto *environmentally-sustainable* e *sustainably* por se tratar de palavras com relevância no âmbito do estudo. Foram eliminadas 119 palavras.

C12 - Eliminação dos verbos auxiliares. Foram eliminadas 17 palavras.

C13 - Eliminação de palavras sem interesse para o âmbito do estudo. Foram eliminadas 784 palavras.

Até ao final desta fase, foram eliminadas 969 palavras ou agrupamentos com 3857 repetições no total. Restaram 62 palavras ou agrupamentos, com 992 repetições.

A partir desta lista calculou-se a mediana da frequência total de repetições e a mediana da frequência em artigos, tendo-se obtido 14 e 6 (23,08%), respetivamente.

Por fim aplicou-se o último critério – C14 – Eliminação das palavras/agrupamentos com medianas inferiores às calculadas. Foram eliminadas 35 palavras (Khaldi & Prado-Gásco, 2020).

O resultado correspondeu às palavras ou agrupamentos que apresentam no mínimo 14 repetições e que se encontram no mínimo em 6 artigos (23,06% da amostra). Assim, obteve-se uma lista de 27 palavras/agrupamentos com 683 repetições no total.

O processo descrito encontra-se representado na Figura 2.



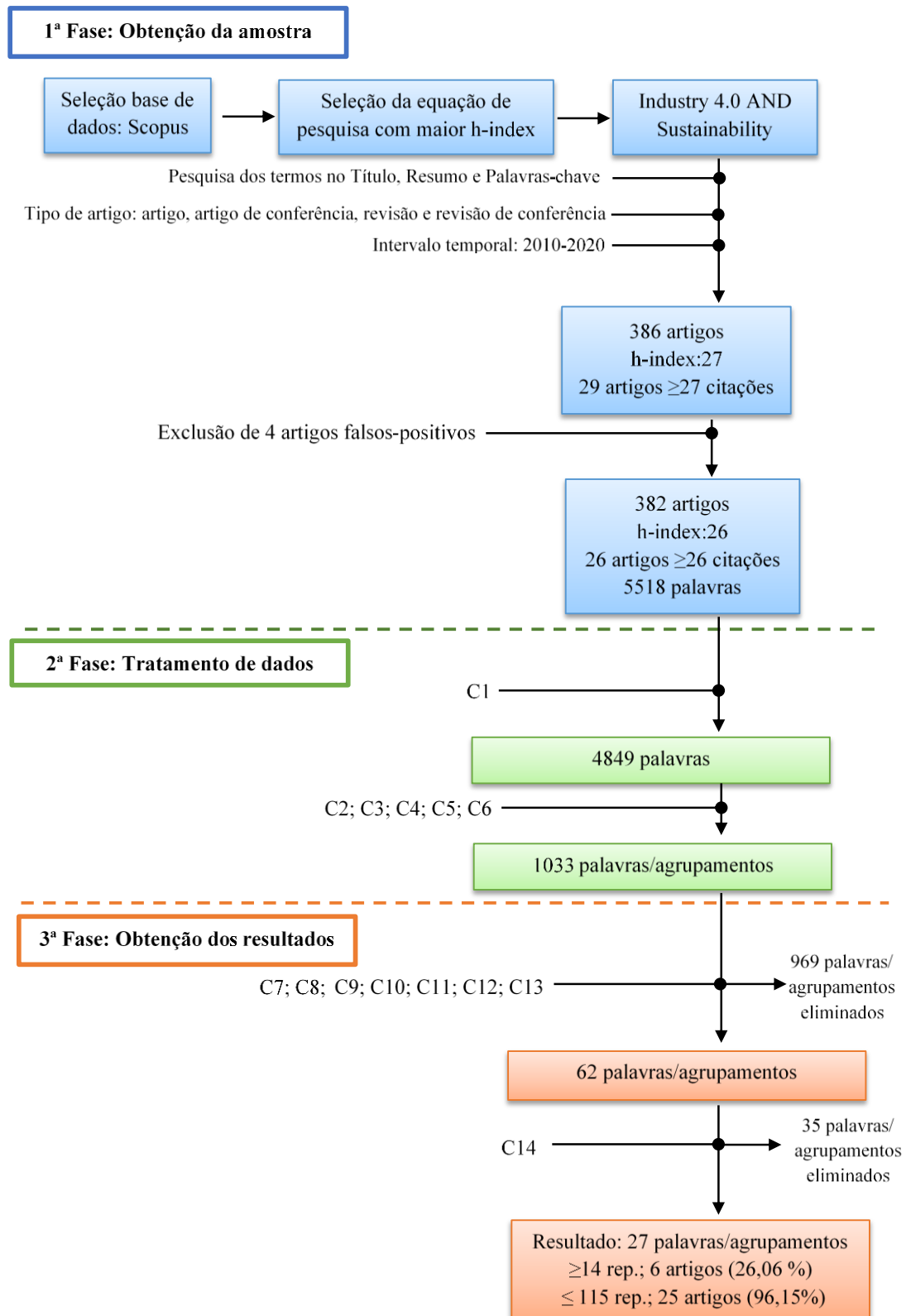


FIGURA 2 - Fluxograma da metodologia adotada. Fonte: Elaboração própria

#### 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, dividido em três partes, será realizada uma caracterização da amostra constituída pelos 26 artigos, serão apresentados os conceitos apurados e por último será feita uma análise dos resultados obtidos.

##### 4.1. Caracterização da Amostra

Os resultados deste estudo foram obtidos através de uma amostra constituída por 26 publicações que pode ser consultada nas referências relativas aos artigos que compõem a amostra. A amostra é constituída por 20 artigos e seis artigos de conferência.

A publicação com mais citações teve 395 (artigo 1) e a publicação com menos citações teve 26 (artigo 26).

Os artigos da amostra distribuem-se por uma janela temporal compreendida entre 2014 e 2019. O ano com mais artigos é o de 2018 com 11 artigos, representando 42% da amostra, e os anos com menos artigos, ou seja, um artigo correspondente a 4% da amostra, foram 2014, 2016 e 2019. No gráfico da Figura 3 é possível ver a distribuição da amostra por ano.

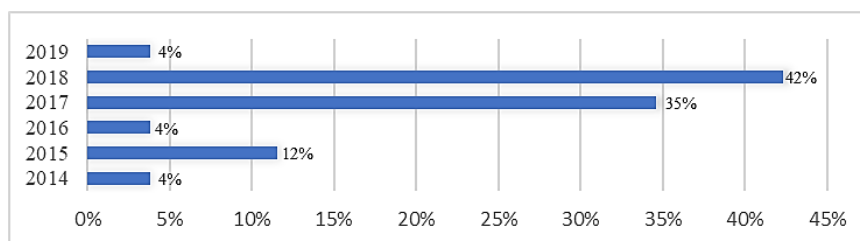


FIGURA 3 – Distribuição da amostra por ano.

Fonte: Elaboração própria

Em relação ao tipo de estudo, com base na análise do resumo de cada artigo considerou-se o mesmo tipo de classificação, selecionado por Ferrão (2016). Assim, observou-se que os artigos 1, 9, 11, 17, 21 e 23 são “Estudos de Caso”, os artigos 2, 5, 15, 19, 25 e 26 são “Estudos Conceptuais”, os artigos 3, 6, 7, 8, 14, 16 e 22 são “Estudos em Organizações”, os artigos 4, 12, 13, 18 e 24 são “Estudos de Literatura” e os artigos 10 e 20 são outros tipos de estudo.

Verifica-se, portanto, um certo equilíbrio entre o tipo de estudos desenvolvidos já que existem sete “Estudos em Organizações”, seis “Estudos de Caso”, seis “Estudos Conceptuais”, cinco “Estudos de Literatura” e apenas dois “Outros tipos de estudo”.

Cada artigo tem no mínimo um autor (artigo 23) e no máximo seis (artigo 25). A maioria dos artigos – oito - tem 4 autores. Assim, 96,15% dos artigos foram escritos em coautoria.

No total a amostra tem 80 autores. A maioria deles surge em apenas um artigo da amostra. Os autores que contrariam essa observação são Julian Müller e Kai-Ingo Voigt, responsáveis por 4 artigos, bem como Tim Stock e Daniel Kiel que são responsáveis por 2 artigos.

No caso dos artigos escritos em coautoria, 60% foram escritos por autores de instituições diferentes e 40% foram escritos por autores da mesma instituição.

Os autores das publicações da amostra estão filiados a organizações de 17 países e quatro continentes. A maioria das filiações – 23% - são da Alemanha. Verifica-se um predomínio da proveniência dos artigos da Europa (70% das filiações), seguida da América, Ásia e África com 14%, 11%, e 5% das filiações, respetivamente. A distribuição geográfica da amostra por país da amostra pode ser consultada na Figura 4.

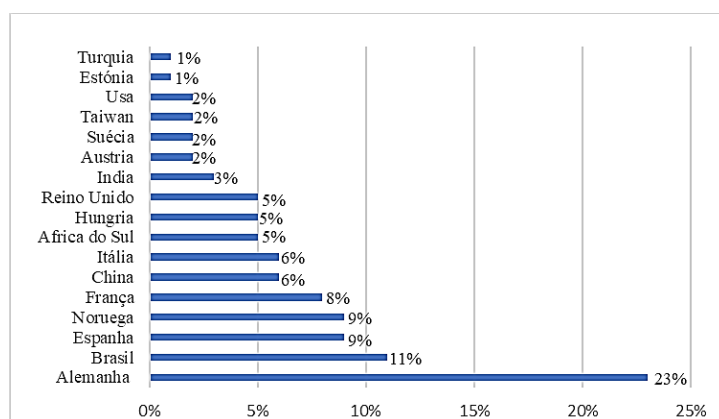


FIGURA 4 - Distribuição geográfica da amostra.

Fonte: Elaboração própria

A amostra provém de 16 revistas, de entre as quais se destacam com seis artigos a *Sustainability*, a *Procedia Manufacturing* e a *Process Safety and Environmental Protection*, ambas com 3 artigos, e a *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology* com dois artigos. As restantes revistas têm um artigo na amostra. Constata-se, portanto, que as publicações da amostra foram publicadas maioritariamente em revistas da área da organização da produção e da sustentabilidade.

Foi feita uma análise da frequência de palavras incluídas no título, resumo e palavras-chave de cada artigo da amostra. Após ter sido aplicado o critério de não separação de

expressões relevantes para o estudo, no total a amostra apresentou 4849 palavras. O artigo com menos palavras tem 95 (artigo 15) e o artigo com mais palavras tem 340 (artigo 8). Em média cada artigo tem 187 palavras.

#### 4.2. Apresentação dos Resultados

Conforme descrito no capítulo da metodologia, os resultados correspondem aos conceitos formados por agrupamentos de palavras que surgem na amostra 14 ou mais vezes e em seis ou mais artigos. No Anexo IV pode consultar-se a Tabela com os agrupamentos e as palavras que os constituem, respetiva frequência em termos relativos (em artigos diferentes) e absolutos (no total da amostra), bem como quais dessas palavras são palavras-chave nos artigos (assinalado com a letra “k”).

A frequência em artigos e a frequência total dos conceitos apurados pode ser observada no gráfico da Figura 5.

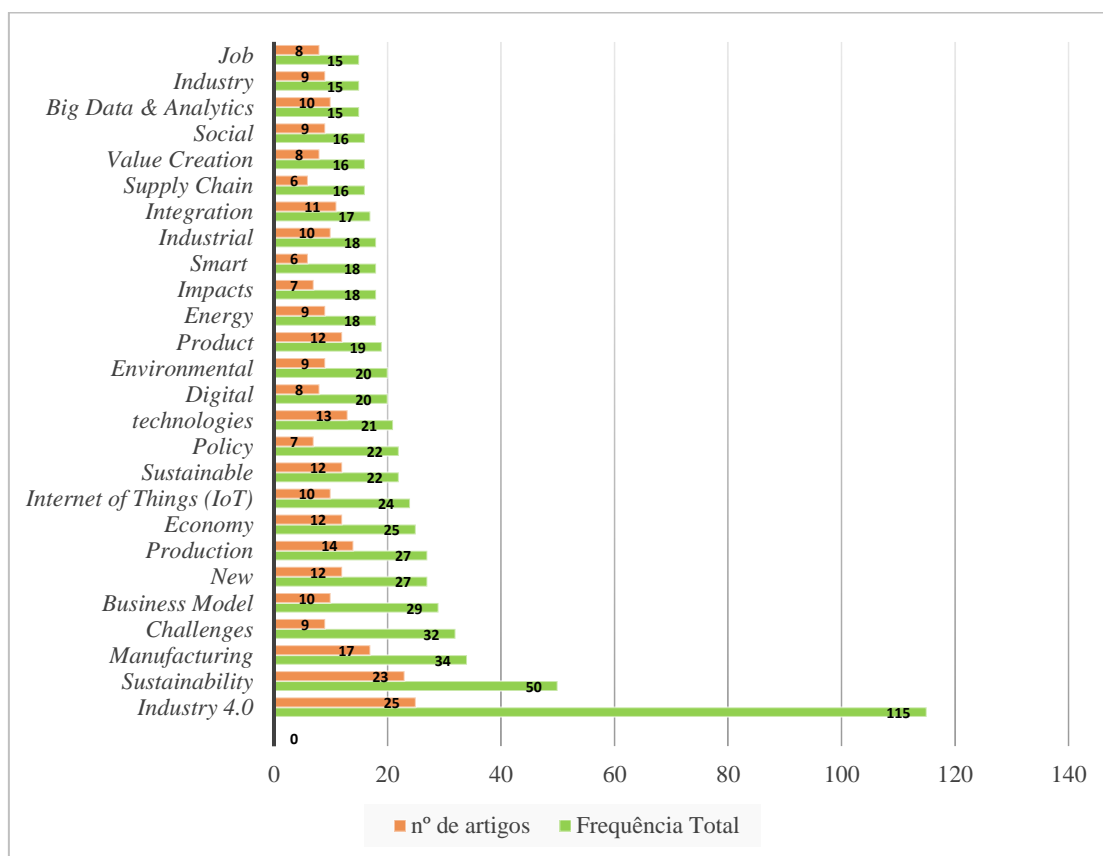


FIGURA 5 - Conceitos Apurados e respetiva frequência em número de artigos e total.

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela VI é possível observar quais os conceitos que integram o resultado. No lado esquerdo da tabela essas palavras encontram-se pela ordem de frequência em artigos

distintos e respetiva percentagem. No lado direito da tabela, as palavras estão ordenadas por ordem decrescente em relação à frequência total na amostra. Considerou-se importante apurar os conceitos, não apenas com base na sua frequência total na amostra, mas também através da frequência em número de artigos diferentes (que se traduz em determinada percentagem). Por esse motivo, foi aplicado critério 14 (C14) referido anteriormente e que permitiu obter o resultado.

TABELA VI - Conceitos apurados

<b>Conceito</b>	<b>Nº artigos</b>	<b>% artigos</b>	<b>Conceito</b>	<b>Frequência total</b>
<i>Industry 4.0</i>	25	96,15%	<i>Industry 4.0</i>	115
<i>Sustainability</i>	23	88,46%	<i>Sustainability</i>	50
<i>Manufacturing</i>	17	65,38%	<i>Manufacturing</i>	34
<i>Production</i>	14	53,85%	<i>Challenges</i>	32
<i>Technologies</i>	13	50,00%	<i>Business Model</i>	29
<i>New</i>	12	46,15%	<i>New</i>	27
<i>Economy</i>	12	46,15%	<i>Production</i>	27
<i>Sustainable</i>	12	46,15%	<i>Economy</i>	25
<i>Product</i>	12	46,15%	<i>Internet of Things (IoT)</i>	24
<i>Integration</i>	11	42,31%	<i>Sustainable</i>	22
<i>Business Model</i>	10	38,46%	<i>Policy</i>	22
<i>Internet of Things</i>	10	38,46%	<i>Technologies</i>	21
<i>Industrial</i>	10	38,46%	<i>Digital</i>	20
<i>Big Data &amp; Analytics</i>	10	38,46%	<i>Environmental</i>	20
<i>Challenges</i>	9	34,62%	<i>Product</i>	19
<i>Environmental</i>	9	34,62%	<i>Energy</i>	18
<i>Energy</i>	9	34,62%	<i>Impacts</i>	18
<i>Social</i>	9	34,62%	<i>Smart</i>	18
<i>Industry</i>	9	34,62%	<i>Industrial</i>	18
<i>Digital</i>	8	30,77%	<i>Integration</i>	17
<i>Value Creation</i>	8	30,77%	<i>Supply Chain</i>	16
<i>Job</i>	8	30,77%	<i>Value Creation</i>	16
<i>Policy</i>	7	26,92%	<i>Social</i>	16
<i>Impacts</i>	7	26,92%	<i>Big Data &amp; Analytics</i>	15
<i>Smart</i>	6	23,08%	<i>Industry</i>	15
<i>Supply Chain</i>	6	23,08%	<i>Job</i>	15
<i>Implementation</i>	6	23,08%	<i>Implementation</i>	14

Fonte: Elaboração própria

Em média foram contabilizados 11 conceitos (ou palavras abrangidas por esses conceitos) em cada artigo. Os artigos que tiveram mais palavras integrantes na lista do resultado foram o artigo 12, 21 e 22 com 16 das 27 palavras. Os artigos com menos palavras incluídas no resultado foram os artigos 17 e 25 com sete das 27 palavras.

Na tabela seguinte (Tabela VII) encontram-se os conceitos apurados observados em cada artigo da amostra.

TABELA VII – Distribuição dos conceitos pela amostra

	<i>Industry 4.0</i>	<i>Sustainability</i>	<i>Manufacturing</i>	<i>Challenges</i>	<i>Business Model</i>	<i>New</i>	<i>Production</i>	<i>IOT</i>	<i>Sustainable</i>	<i>Policy</i>	<i>technologies</i>	<i>Economy</i>	<i>Digital</i>	<i>Environmental</i>	<i>Product</i>	<i>Energy</i>	<i>Impacts</i>	<i>Smart</i>	<i>Industrial</i>	<i>Integration</i>	<i>Supply Chain</i>	<i>Value Creation</i>	<i>Social</i>	<i>Big Data &amp; An.</i>	<i>Industry</i>	<i>Job</i>	<i>Implementation</i>		
1	•	•	•	•					•		•	•		•								•	•			•			
2	•	•				•	•	•	•	•						•		•	•	•	•								
3	•	•	•	•			•		•				•	•			•		•			•	•					•	
4	•	•	•			•		•	•		•		•		•			•		•					•				
5	•		•	•			•				•			•						•	•							•	
6	•	•	•	•					•			•								•		•	•	•			•		
7	•	•		•	•		•		•	•	•	•		•	•						•					•		•	
8	•		•		•		•	•				•	•		•		•			•	•			•		•		•	
9	•	•			•			•	•		•	•	•		•									•	•			•	
10	•	•					•		•		•	•				•						•	•				•		
11	•	•	•		•	•	•		•		•				•			•	•					•	•	•		•	
12	•	•		•		•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•			•	•			•				•	
13	•	•	•		•	•			•						•	•	•	•									•	•	
14	•	•	•	•					•			•					•					•	•	•					
15	•	•			•				•			•	•		•						•								
16	•	•	•				•		•	•			•			•	•							•		•		•	
17	•	•				•		•	•		•					•												•	
18		•	•			•	•		•		•				•	•										•			
19	•	•	•	•		•		•	•												•								
20	•	•	•			•	•		•	•				•		•								•		•	•		•
21	•	•	•		•		•	•	•			•		•				•	•	•	•	•	•	•	•			•	
22	•	•	•		•	•			•	•	•	•	•			•					•		•	•	•		•	•	
23	•	•					•		•		•		•		•		•	•			•	•							
24	•	•	•			•	•	•	•					•	•						•					•			
25	•	•	•	•	•	•			•																•				
26	•				•			•		•	•			•	•						•					•	•		

Fonte: Elaboração própria

### 4.3. Análise dos Resultados

De um modo geral, pode dizer-se que os resultados obtidos são palavras relacionadas com a Produção Industrial, Sustentabilidade e as suas três dimensões (Económica, Ambiental, e Social e Humana), Tecnologia, e um grupo mais heterogéneo, no qual se destacam conceitos relacionados com a aplicação prática das duas dimensões em estudo e da sua interação.

Na tentativa de sustentar e interpretar os resultados obtidos, foram consultados vários documentos considerados relevantes, emitidos recentemente por países e instituições de referência, nomeadamente para o contexto deste estudo.

A UNIDO - *United Nations Industrial Development Organization* -, é uma agência da ONU dedicada ao desenvolvimento industrial cuja missão é a de “promover e acelerar o desenvolvimento industrial sustentável e inclusivo nos estados membros”. Tem como objetivos a redução da pobreza, globalização inclusiva e sustentabilidade ambiental (UNIDO, 2020).

A Comissão Europeia, é um órgão executivo da UE, politicamente independente, que elabora propostas de novos atos legislativos e que leva a cabo a aplicação da legislação, políticas e orçamento da mesma (Comissão Europeia, 2020a).

Conforme foi referido, a Alemanha teve um papel basilar no arranque da quarta revolução industrial, quando em 2011 lançou o projeto *Industrie 4.0*. Através dele, o governo alemão desenvolveu a sua estratégia com o objetivo de aumentar a vantagem competitiva em vários setores. A Alemanha é ainda o país mais referido nas publicações (26,92%) que constituem a amostra.

Portugal, o país de origem do presente estudo, desenvolveu em 2017, o seu próprio projeto denominado Indústria 4.0, com vista ao seu desenvolvimento digital, assente em três pilares: digitalização, inovação e educação (Comissão Europeia, 2017a). De referir que na última análise de junho de 2020 realizada pela *European Innovation Scoreboard 2020*, da responsabilidade da Comissão Europeia, o país subiu no *ranking*, integrando atualmente o grupo dos *Strong Innovators*, onde se encontra a própria Alemanha (Comissão Europeia, 2020b).

Neste capítulo, mais do que explicar sobre os aspetos teóricos que podem justificar os resultados obtidos, pretende-se perceber se, na realidade, estes conceitos são explorados e tidos em conta pelas entidades elencadas e o que de mais relevante é transmitido pelas mesmas, em relação aos conceitos apurados.

**Industry 4.0** é um dos conceitos de pesquisa para a realização deste estudo. Consequentemente revelou ser o mais frequente com 115 referências em 96,15% da amostra. Inclusive, *Industrie 4.0* e *Industry 4.0* surgem como palavras-chave em 21 dos artigos.

A UNIDO defende ter um papel importante no estímulo da consciência por parte dos seus estados membros, da importância que a quarta revolução industrial tem e em relação ao desenvolvimento industrial inclusivo e sustentável, pretendendo incentivar a criação de normas e protocolos no âmbito da implementação da I4.0 (UNIDO, 2018). Por outro

lado, a dedicação ao estudo deste panorama por parte da Comissão Europeia é bastante notável. A organização reconhece que as tecnologias relacionadas com a I4.0, têm um potencial transformador das indústrias já existentes, e poderão dar um enorme contributo para o crescimento sustentável da economia Europeia (Comissão Europeia, 2017b).

A Alemanha destaca que a relação entre o mundo real e o mundo virtual constitui de facto uma mudança de paradigma para a indústria e, como já é sobejamente conhecido, afirma-se como um dos países na vanguarda da implementação da I4.0, baseando o seu modelo económico no desenvolvimento sustentável da indústria (Ministério Federal dos Assuntos Económicos e Energia, 2019).

Quanto a Portugal, lançou em 2017 a sua estratégia denominada “Indústria 4.0” com alicerces na digitalização, inovação e formação (Comissão Europeia, 2017a). Aliás, a “Visão Estratégica para o Plano de Recuperação Económica de Portugal 2020-2030”, elaborada na sequência da pandemia de covid-19, recomenda uma aceleração no processo de digitalização das empresas aumentando o grau de maturidade da I4.0 no tecido empresarial português e alerta para a importância de práticas sustentáveis a vários níveis (Silva, 2020).

Verifica-se, portanto, que a Indústria 4.0 não é apenas um tema explorado em contexto teórico ou académico, mas que se encontra na ordem do dia para os países e organizações.

Com 38,46% e 34,62% de representação na amostra respetivamente, **Industrial** e **Industry**, que têm a mesma raiz e surgem nos resultados devido ao facto de a amostra explorar amplamente a nova revolução industrial.

Embora na amostra também tenham sido referidas outras tecnologias que caracterizam a Indústria 4.0, **Big Data & Analytics** e **Internet of Things** foram as mais abordadas, ambas em 38,46% da amostra. Estas ferramentas aceleram a inovação (UNIDO, 2019), promovem a interação entre setores (Comissão Europeia, 2019), a atividade económica e a conservação de recursos de forma mais eficiente (Governo Federal Alemão, 2018), a criação de valor e a competitividade (Silva, 2020).

**Tecnologies** está presente em 50% da amostra e **Digital** presente em 30,77%. À escala global, assiste-se a um cenário de coexistência de diferentes gerações de tecnologia digital no mesmo país e em geral a quarta geração ainda é a que menos se encontra nos setores (UNIDO, 2019). Por seu turno, a Comissão Europeia salienta que mais de 41% das empresas da UE não adotaram nenhuma tecnologia digital avançada, o que remete para a



dificuldade das mesmas em enfrentarem esta fase de transição (Comissão Europeia, 2017b). Não obstante, à semelhança da maioria dos países a nível mundial, quer a Alemanha, quer Portugal demonstram interesse nos processos de digitalização e da adoção da tecnologia relacionada com a I4.0, nomeadamente através dos planos estratégicos desenvolvidos.

Outro termo que integra o leque de resultados obtido é **Manufacturing**. Foi a terceira palavra mais referida em termos absolutos (34) e em artigos (65,38%). Embora cada vez mais se assista a uma aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 a vários setores e indústrias, o da manufatura foi o primeiro a ser alvo de mudanças.

Como era expectável, **Smart** acabou por compor a lista de palavras mais frequentes em 23,08% dos artigos. Verificou-se que este conceito tem uma aplicabilidade infundável. Tanta quanto os contextos em que é possível assistir à implementação da I4.0. Verificou-se também que a aplicação das transformações digitais ao setor da manufatura gerou termos como por exemplo *smart manufacturing*, *smart factory/ies* ou *smart production*, revelando que a indústria 4.0 e tecnologias *smart* são indissociáveis.

**Production** foi dos conceitos mais observados na amostra (53,85%), já que a mudança causada pela nova revolução industrial, conduziu, a uma revolução na produção. A Comissão Europeia (2016) considera que as tecnologias de produção digital avançadas aplicadas à manufatura, estão a provocar mudanças consideráveis na natureza dos sistemas de produção, podendo conduzir a uma maior eficiência dos mesmos.

O facto de **New** ser uma palavra frequente na amostra (46,15%), está relacionado com a fase de disrupção a que se assiste na nova revolução digital. Assiste-se a uma transformação a todos os níveis e o que se tornou obsoleto renova-se. Alguns exemplos de referências desta palavra na amostra são: *new technologies*, *new business models*, *new skills*, *new jobs*, *new paradigm* e *new products*.

**Product** surge na lista de resultados (presente em 46,15% da amostra), em função dos bens ou serviços que vêm as suas características ou capacidades otimizadas e melhoradas e dos novos produtos potenciados pela produção sustentável. Os artigos da amostra que mencionam o novo produto da era digital remetem, de formas mais ou menos explícitas, para a customização e cada vez mais para os processos de produção sustentáveis.

Numa alusão implícita aos três pilares do TBL, a UNIDO (2019) refere que a I4.0 é responsável pela existência de novos e melhores produtos, que podem trazer novas

soluções para grupos socialmente marginalizados, nomeadamente através da criação de dispositivos médicos a preços mais acessíveis (dimensão social), qualidade de produtos e novos modelos de negócios (dimensão económica) e produções com reduzido impacto ambiental (dimensão ambiental). A Comissão Europeia (2019) salienta a importância da gestão do ciclo de vida do produto e das vantagens da inovação dos produtos.

O outro termo que compunha a equação de pesquisa deste estudo – *Sustainability* -, surge na amostra com uma frequência de 50 vezes, em 88,46% dos artigos.

A UNIDO (2019) defende que as tecnologias de produção digital para além de favorecerem a o crescimento económico, contribuem para o bem-estar da espécie humana e proteção ambiental, permitindo assim atingir objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

A comissão Europeia (2016) admite que as burocracias e complexidade dos processos de gestão de materiais ao longo da cadeia de abastecimento, têm dificultado a difusão de tecnologias sustentáveis. Por isso, a maioria das políticas estabelecidas na Europa pretendem facilitar esses processos de forma a alcançar a competitividade industrial, a modernização e assegurar o crescimento sustentável da produção e frequentemente os objetivos económicos, sociais e ambientais conciliam-se (Comissão Europeia, 2017b).

Na “Estratégia de Desenvolvimento Sustentável Alemã”, desenvolvida pelo Governo Federal Alemão (2018), o reconhecimento de que a Sustentabilidade aliada à nova era da digitalização, requer e proporciona processos de transformação na sociedade, negócio e qualidade de vida. Este fenómeno potencia o desenvolvimento sustentável, não obstante de o seu impacto a nível económico, ambiental e social ser estudo de forma a que se estabeleçam as políticas necessárias.

Por parte do Governo Português verifica-se a constatação de que a indústria 4.0 desempenha um papel importante no alcance da Sustentabilidade (KPMG Portugal, 2019).

Com o mesmo radical, *Sustainable* foi também uma das palavras mais frequentes da amostra (46,15%), revelando um largo espectro de aplicação contextual como *Sustainable Manufacturing*, *Sustainable Operations*, *Sustainable Outcomes*, *Sustainable Processes* ou *Sustainable World*. Importa referir, que uma das aplicações mais relevantes da palavra *Sustainable*, - *Sustainable Development*-, acabou por não pertencer ao resultado porque foi considerada uma expressão e embora seja uma palavra-chave em alguns artigos,

acabou por não surgir em artigos diferentes suficientes. O mesmo aconteceu com o conceito TBL, que apesar de ter constado na pré-amostra não preencheu os requisitos para estar contemplado no resultado. No entanto, as suas três dimensões acabam por surgir na amostra revelando a preocupação das organizações e países com as mesmas aquando da implementação da I4.0.

Um dos agrupamentos que compõe o resultado é **Economy** (46,15%). Para o agrupamento “economia” contribuíram palavras como *circular economy (CE)*, *emerging economies*, *emerging industrial economy*, *economic sustainability*, *economies of scale* e *global economies*. É expectável que a economia assuma, cada vez mais uma escala global, já que a sua digitalização está a ajudar as pequenas e médias empresas a realizar trocas comerciais em todo mundo. De igual modo, espera-se o crescimento dos modelos de economia circular, nos quais se assiste à reutilização e reciclagem dos produtos no seu ciclo de vida (UNIDO, 2018). Estes aspetos fomentarão um sistema económico internacionalmente competitivo e que, simultaneamente, ajudarão a estabelecer normas a nível social e ambiental, ajudando a estabelecer modelos de produção sustentáveis (Comissão Europeia, 2019).

O Governo Federal Alemão (2018) defende a realização de estudos em torno da economia, tanto a nível nacional, como em todos os países da EU, com o objetivo de perceber o contexto atual e delinear estratégias para o futuro. Para além disso, a integração do critério da Sustentabilidade no sistema financeiro é crucial.

Em Portugal, um dos objetivos da segunda fase do programa Indústria 4.0 foi o de diagnóstico da maturidade digital da economia nacional. De entre as conclusões retiradas, está a de que “a indústria 4.0 constitui uma alavanca potencial para a gestão eficiente de recursos, economia circular e Sustentabilidade” (KPMG Portugal, 2019).

A mudança que se verifica nos mercados, causada pela nova revolução industrial, promove possibilidades de novos de modelo de negócio (UNIDO, 2019). A aliança entre a inteligência artificial e *data analytics* beneficia o crescimento desses novos modelos que causam uma enorme transformação na economia e sociedade (Comissão Europeia, 2019). Estes aspetos justificam que **Business Models** seja uma das palavras que constam no resultado (38,56%). A Alemanha salienta a importância da vertente da Sustentabilidade destes modelos de negócio (Governo Federal Alemão, 2018) e Portugal

refere preocupações quanto aos seus modelos de negócio que apresentam um *gap* em comparação com outros países europeus (KPMG Portugal, 2019, p. 4).

Estes novos modelos de negócios vêm a sua criação de valor (***Value Creation***) baseada no facto de relacionarem a produção e *marketing* (UNIDO, 2019; Governo Federal Alemão, 2018). Contudo, a Comissão Europeia (2019), alerta para o facto de os ataques de *cyber*-segurança contribuírem um obstáculo para a criação de valor, correspondendo a um desafio para as empresas do futuro.

*Value Creation* surgiu em 30,77% da amostra e é composto por expressões como *industrial value creation* e *sustainable industrial value creation*.

***Supply Chain*** surge em 23,08% dos resultados, remetendo para outro aspeto a valorizar nos novos modelos de negócio: o aumento da eficiência das produções, justificadas em parte pelas cadeias de abastecimento que vêm a sua dinâmica positivamente afetada pela sua conectividade promovida pelas novas tecnologias (UNIDO, 2018). Os novos modelos de negócio requerem uma gestão complexa das cadeias de abastecimento e a sua internacionalização e a virtualização é cada vez mais comum (Comissão Europeia, 2019). O desenvolvimento de cadeias de abastecimento que tenham em conta dimensões económicas, sociais e ambientais é uma preocupação explícita do governo alemão (Governo Federal Alemão, 2018).

Em relação à dimensão ***Social*** que é abordada em 34,66% dos artigos da amostra, na 17ª Conferência Geral da UNIDO, Szilárd Orovica referiu que embora as primeiras duas revoluções industriais tenham proporcionado um alcance na qualidade de vida da sociedade, caracterizaram-se em contrapartida por condições laborais desadequadas e inconcebíveis como o trabalho infantil, discrepância salarial entre géneros, entre outros aspetos. Uma das vantagens da Inteligência Artificial é a de que poderá retirar às pessoas as tarefas repetitivas dando-lhe oportunidade de desenvolver atividades de maior valor (UNIDO, 2018).

Assim, em relação às restantes RIs, a I4.0 poderá representar uma evolução nas condições de trabalho e sociais. Conforme referido, existem algumas questões éticas levantadas em relação à *cyber*-segurança e proteção de dados, às alterações do mercado de trabalho e a disparidade entre trabalhadores especializados e não-especializados (Comissão Europeia, 2019). A Alemanha destaca que o país poderá ser considerado plenamente sustentável, apenas se todos, sem exceção, acompanharem a mudança

destacando como princípios a igualdade de direitos e discriminação numa clara alusão à união e igualdade social (Governo Federal Alemão, 2018).

À semelhança do que aconteceu em 30,77% dos artigos da amostra, uma das temáticas que surgem no âmbito do estudo da Indústria 4.0 é a do seu impacto no emprego. No caso da amostra, para o conceito de emprego que surge em 30,77% dos artigos, contribuíram palavras como *education/training, job creation e working conditions*.

Embora estejam possivelmente em risco algumas profissões ou postos de trabalho, devido à automatização das novas tecnologias, a verdade é que é provável que surjam novas oportunidades de emprego (UNIDO, 2019).

Para prevenir o desemprego e disparidade social, devem promover-se uma adaptação dos recursos humanos, formação (particularmente entre as gerações mais velhas), ambientes de trabalho diversificados e a literacia digital (Comissão Europeia, 2019, p. 27).

No caso da Alemanha, um dos países mais industrializados e o berço da quarta revolução industrial, nunca teve tantos postos de trabalho como agora em toda a sua história (Governo Federal Alemão, 2018), o que pode responder às preocupações relacionadas com a relação entre a implementação da I4.0 e a diminuição dos empregos. Embora o Governo Alemão considere expectável que sejam afetados pela transformação digital, perspectiva também um aumento do número de postos de trabalho.

Um dos objetivos do projeto indústria 4.0 em Portugal é o de investir na formação da área das tecnologias para que as organizações possam empenhar-se nos seus processos de transformação digital não descurando do princípio de inclusão e através de emprego qualificado (KPMG Portugal, 2019).

A terceira dimensão do TBL, - ambiental (*Environmental*)- surge 20 vezes em 34,62% da amostra. Mais eficiência na produção é sinónimo de redução da emissão de gases poluentes e do consumo excessivo de materiais. Deste modo, a sustentabilidade ambiental será cada vez mais uma realidade da I4.0 (UNIDO, 2019, p. 2).

A economia circular é uma tendência atual que implica uma transformação não só económica, mas também ambiental. Mesmo com o alcance de um maior ciclo de vida dos produtos, o que poderá reduzir o consumo de recursos, surgirão outras oportunidades de negócio, em particular as relacionadas com as soluções para adaptar ou mitigar as consequências da degradação dos ecossistemas, alterações climáticas e a escassez de

recursos. Estes aspetos levantam preocupações a nível ambiental, mas também económico e social, influenciadas também pelos interesses e exigências dos consumidores (Comissão Europeia, 2019).

A Alemanha aborda a importância da sustentabilidade ambiental das atividades económicas e do desenvolvimento da produção e tecnologias (Governo Federal Alemão, 2018). Portugal enumera várias necessidades urgentes como a redução de gases poluentes e da poluição, proteção dos oceanos e adaptação às alterações climáticas, entre outros. O país pretende fomentar um modelo económico circular e descarbonizado, em linha com os Objetivos de Sustentabilidade da Agenda 2030 e as exigências da população cada vez mais relacionadas com questões ambientais (Silva, 2020).

Nesta dimensão ambiental existem vários aspetos que merecem destaque na literatura. No caso da amostra deste estudo, **Energy** foi um dos agrupamentos mais referidos surgido 18 vezes em 34,62% dos artigos através de expressões como *energy consumption*, *energy management*, *energy security*, e *renewable energy*.

A UNIDO (2019) considera que a eficiência das produções implica a redução de emissão de poluentes e do consumo de energia por unidade de produção, melhorando a sustentabilidade ambiental. A organização afirma desenvolver uma série de projetos no setor da energia, colaborando com governos em protocolos e planos de ação de implementação da I4.0 e considera que a eficiência energética e a sustentabilidade das produções são oportunidades a destacar na I4.0.

Por seu turno, a Comissão Europeia (2019) refere que os avanços em termos de eficiência energética implicam menos custos, melhoram a produtividade e aumentam a competitividade das empresas. Existe uma tendência e esforço de que as novas tecnologias sejam aliadas a sistemas de energias renováveis.

O Governo Federal Alemão (2018) prevê o subsídio de programas nas áreas de alterações climáticas e transição energética com o objetivo de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. Para Portugal a transição energética é uma prioridade que irá permitir alcançar objetivos traçadas em vários planos (Silva, 2020).

As políticas desenvolvidas desempenharão um papel crucial nos impactos que a I4.0 poderá causar em termos da sustentabilidade económica, social e ambiental. Por esse motivo, 26,92% da amostra abordam este agrupamento composto por *governments*, *legal*, *laws*, *innovation policy*, *policy makers*, *policy making* e *political*, por exemplo.

Os governos, empresas e organizações devem desenvolver uma visão estratégica e digital, através de uma abordagem de políticas integrativas e adequadas à realidade atual. Urge a aprovação de novas legislações, já que as existentes têm em conta a terceira revolução industrial e não estão adequadas à realidade da Indústria 4.0 (UNIDO, 2018).

A Comissão Europeia (2019) defende a existência de políticas de coesão que permitam a implementação de tecnologias sustentáveis, baseadas em conceitos de uma economia circular como a reutilização, remanufatura e reciclagem de produtos e processos.

As políticas devem ser constantemente revistas e melhoradas e devem estar em linha com que é definido a nível Europeu, dedicando-se a áreas que precisam de maior desenvolvimento: Preço da eletricidade e energia, impostos a empresas, segurança social (Governo Federal Alemão, 2018).

Em Portugal, as políticas pretendem dotar o capital humano de competências digitais e criar incentivos à implementação da Indústria 4.0 favorecendo a economia digital, inovação produtiva e investigação e desenvolvimento (Comissão Europeia, 2017a; KPMG Portugal, 2019).

Entre os conceitos da amostra encontra-se **Integration**, um agrupamento que surge em 42,31% da mesma e que, neste contexto diz respeito à integração entre a I4.0 e os aspetos da sustentabilidade, aos serviços integrados (que é inclusive uma palavra-chave no artigo 19), à interação entre o mundo real e virtual e à integração vertical e horizontal na cadeia de valor (UNIDO, 2018; Comissão Europeia, 2019).

**Implementation** é um agrupamento presente em 23,08%, palavra-chave de um dos artigos, deve a sua frequente utilização aos estudos que se dedicam à implementação da I4.0, nomeadamente no contexto da sustentabilidade económica, ambiental e social.

Concretamente, no que diz respeito à interação entre os termos de pesquisa, surgem entre os resultados obtidos palavras como **Impacts** ou **Challenges**. De facto, verificou-se não só ao longo da revisão da literatura como nas referências consultadas para a interpretação dos resultados, um cuidado em abordar os impactos positivos (oportunidades) e negativos (riscos) (26,92% da amostra) bem como os desafios (34,62% da amostra) observados na implementação da I4.0 nomeadamente ao nível das dimensões da Sustentabilidade na nova era da revolução industrial. De referir que *opportunities* esteve também entre as palavras mais abordadas na amostra, não preenchendo, contudo, os requisitos para integrar o resultado.

Quanto mais se exploram os conceitos obtidos através deste estudo, mais se verifica o quão relacionados se encontram, porque se referem a fenómenos à escala global e porque se influenciam, são dinâmicos e refletem a simbiose que existe entre os títãs I4.0 e Sustentabilidade, assim referidos no artigo de Jabbour, Jabbour, Foropon & Godinho (2018). Na Figura 6 é possível observar o modelo conceptual da investigação e os resultados obtidos. Na Figura 7 observam-se os resultados obtidos por agrupamento e as palavras englobadas em cada ecossistema desses agrupamentos, formando assim os conceitos apurados.

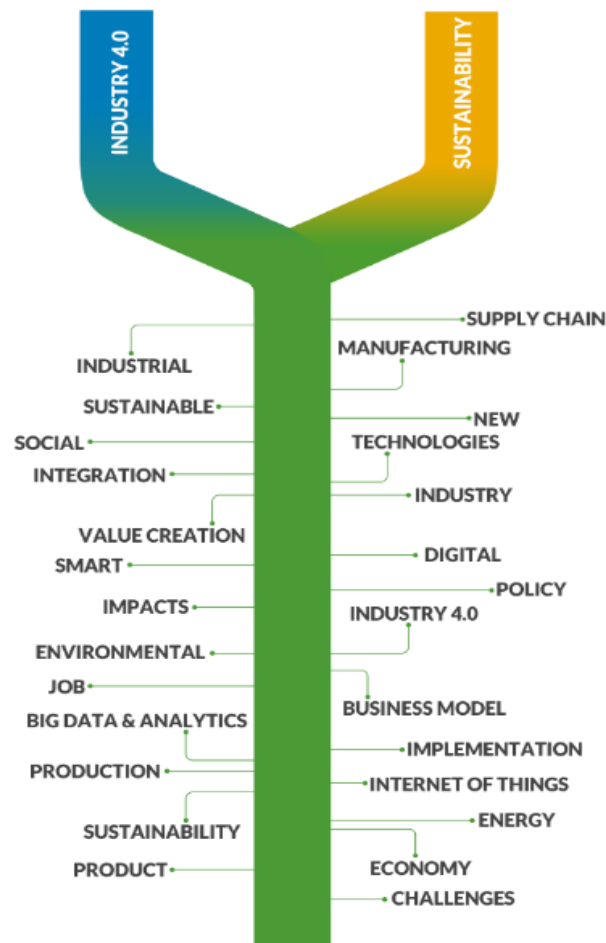


FIGURA 6 - Modelo conceptual da investigação.

Fonte: Elaboração própria.



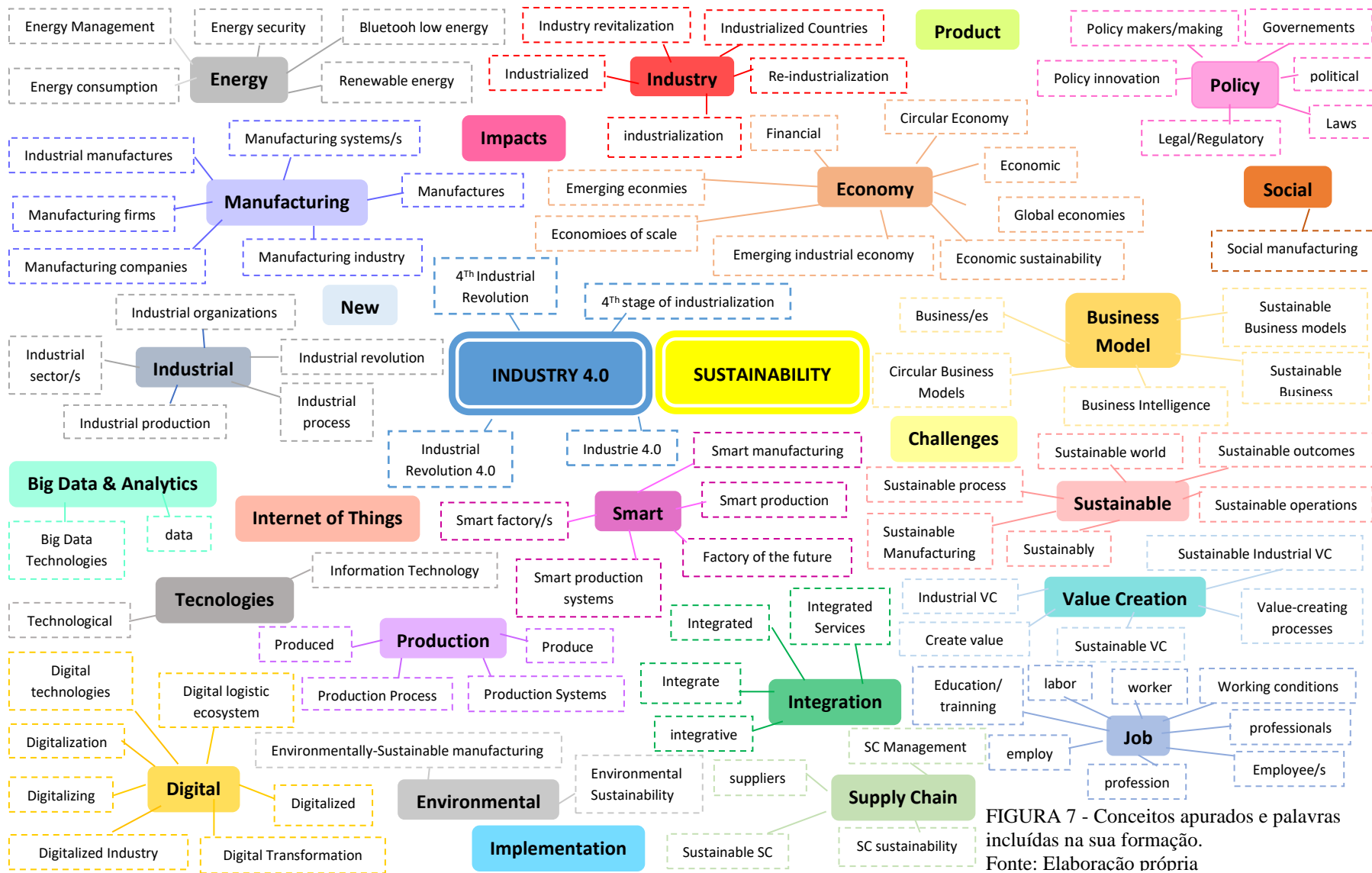


FIGURA 7 - Conceitos apurados e palavras incluídas na sua formação.  
Fonte: Elaboração própria

## 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 4.1. Principais Conclusões

O objetivo deste trabalho é apurar quais os conceitos que surgem no âmbito do estudo da relação entre a Indústria 4.0 e a Sustentabilidade, de forma a contribuir para sistematização da literatura existente.

A elaboração deste estudo compreendeu três fases que corresponderam à obtenção da amostra, ao tratamento de dados e à obtenção de resultados.

Os resultados foram obtidos através de uma amostra constituída por 26 publicações muito recentes, maioritariamente de 2017 e 2018, desenvolvidos principalmente por autores Europeus (70%), e em particular alemães (23%). As publicações da amostra foram publicadas maioritariamente em revistas da área da organização da produção e da sustentabilidade. A maioria dos artigos foram escritos em coautoria e em 60% desses casos os autores são de instituições diferentes.

Em relação ao tipo de estudo verifica-se uma distribuição quase equitativa entre “Estudos em Organizações”, “Estudos de Caso”, “Estudos Conceptuais” e “Estudos de Literatura”.

Após ter sido aplicado o critério de não separação de expressões relevantes para o estudo, no total, a amostra apresentou 4849 palavras.

Durante o tratamento de dados procedeu-se à contabilização das palavras mais frequentes presentes no título, resumo e palavras-chave dos 26 artigos mais citados, subordinados ao tema, e registados na base de dados *Scopus*.

Os conceitos identificados são, por ordem decrescente da sua frequência em artigos diferentes da amostra, os seguintes: *Industry 4.0, Sustainability, Manufacturing, Production, Technologies, New, Economy, Sustainable, Product, Integration, Business Model, Internet of Things (IoT), Industrial, Big Data & Analytics, Challenges, Environmental, Energy, Social, Industry, Digital, Value Creation, Job, Policy, Impacts, Smart, Supply Chain e Implementation*.

Como se observa predominam temas ligados com:

- a produção, principalmente de natureza industrial (*Industry 4.0, Manufacturing, Production, Industrial, Industry, Supply Chain* – embora a palavra *Industry* tenha um significado que vai para lá do conceito de indústria manufatureira, neste

contexto, as situações a que se reporta são fundamentalmente nesse enquadramento);

- a Sustentabilidade (*Sustainability, Sustainable*), e a sua dimensão ambiental (*Environmental, Energy*), dimensão social e humana (*Social, Job*) e a dimensão económica (*economy, business model, value creation*);
- as tecnologias (*Technologies, Internet of Things (IoT), Industrial, Big Data & Analytics, Smart, Digital*); e
- finalmente, um conjunto mais heterogéneo, no qual se destacam conceitos relacionados com a aplicação prática das duas dimensões em estudo e da sua interação (*New, Product, Integration, Challenges, Policy, Impacts e Implementation*).

Os resultados obtidos permitem, ainda, concluir que existem franjas marginais no que diz respeito à relação entre a I4.0 e a Sustentabilidade, o que é razoável num campo de estudo que está em desenvolvimento. Os conceitos identificados são ainda genéricos e abrangentes, não permitindo aferir sobre conceitos com maior especificidade. No caso do presente estudo, importa consultar as palavras ou expressões que compuseram os agrupamentos representados no resultado.

A I4.0 cujas principais tecnologias são a *Internet of Things* e o *Big Data & Analytics*, revelou ser uma dimensão com bastante versatilidade quanto à sua aplicabilidade, embora com maior tendência na indústria de manufatura.

A implementação da I4.0 deve ter em conta não só o equilíbrio entre as dimensões social, económica e ambiental, como outros conceitos, como os aspetos políticos/legais, a criação de valor, os novos modelos de negócio de forma a garantir a Sustentabilidade. Promover a integração entre as duas dimensões em estudo é tirar o melhor partido da implementação da I4.0 e suas tecnologias colocando-as ao serviço dos objetivos sustentáveis.

Registe-se ainda a ausência de aplicações do conceito nos serviços. No passado, conceitos que se desenvolveram inicialmente na indústria (manufatura) evoluíram depois para os serviços (e.g. a qualidade – nas suas diversas nuances; o conceito de *lean production (lean services)*, etc.). É possível que, no futuro, o conceito se expanda para os serviços, nesta fase, o estudo não releva que essa expansão se tenha já iniciado.

Por fim, salienta-se dos resultados a grande utilização de palavras agrupadas numa dimensão económica (*economy, business model, value creation*). Esta situação indicia o elevado carácter transformacional da Indústria 4.0 não só no que respeita ao modo como se fazem os negócios e ao modo como se cria valor, mas também à economia no seu todo.

### 5.2 . *Limitações e Pesquisa Futura*

Durante a realização do estudo registou-se a dificuldade na definição de critérios na separação e eliminação das palavras, pela subjetividade inerente a este tipo de ensaio, na qual as decisões podem variar de acordo com o investigador.

A realização deste estudo pretendeu contribuir, nomeadamente para que futuros estudos que tenham no seu denominador comum a I4.0 e Sustentabilidade possam ter uma referência em relação aos conceitos a abordar. Em relação a eventuais novas etapas de estudo sugere-se, por exemplo, a realização da pesquisa em várias bases de dados e com chaves de pesquisa mais amplas, ou a seleção de outras métricas que não o h-index já que este tem as suas próprias limitações.

Os dados foram obtidos através do título, resumo e palavras-chave da amostra. Sugere-se para a obtenção de resultados mais assertivos abranger todo o texto da amostra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibby, L. & Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector. *Production Planning & Control*, 29(12), 1030-1043.

Birkel, H., Veile, J., Müller, J., Hartmann, E. & Voigt, K. (2019) Development of a Risk Framework for Industry 4.0 in the Context of Sustainability for Established Manufacturers. *Sustainability*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/su11020384>

Bornmann, L. & Daniel, H. (2007). What do we know about the h index?. *Journal of the American Society for Information Science and technology*, 58(9), 1381-1385.

Braccini, A. & Margherita, E. (2018). Exploring Organizational Sustainability of Industry 4.0 under the Triple Bottom Line: The Case of a Manufacturing Company. *Sustainability*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/su11010036>

Carvalho, N., Chaim, O., Cazarini, E. & Gerolamo, M. (2018) Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive project in sustainable Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 21, 671–678.

Comissão Europeia (2016). *An analysis of drivers, barriers and readiness factors of EU companies for adopting advanced manufacturing products and technologies* [Em linha]. Disponível em: <https://www.iapmei.pt/getattachment/PRODUTOS-E-SERVICOS/Industria-e-Sustentabilidade/AnalysisDrivers.pdf.aspx> [Acesso em: 2020/08/27].

Comissão Europeia (2017a). *Digital Transformation Monitor – Country Portugal “Indústria 4.0”* [Em linha]. Disponível em: [https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM\\_Ind%C3%BAustria%204.pdf](https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Ind%C3%BAustria%204.pdf) [Acesso em: 2020/08/07].

Comissão Europeia (2017b). *Key lessons from national industry 4.0 policy initiatives in Europe* [Em linha]. Disponível em: [https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM\\_Policy%20initiative%20comparison%20v1.pdf](https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Policy%20initiative%20comparison%20v1.pdf) [Acesso em: 2020/08/14].

Comissão Europeia (2019). *European Cluster and Industrial Transformation Trends Report* [Em linha]. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8c3dc49e-47cc-11ea-b81b-01aa75ed71a> [Acesso em: 2020/08/14].

Comissão Europeia (2020a). *Em Síntese* [Em linha]. Disponível em: [https://europa.eu/european-union/about-eu/institutions-bodies/european-commission\\_pt#em-s%C3%ADntese](https://europa.eu/european-union/about-eu/institutions-bodies/european-commission_pt#em-s%C3%ADntese) [Acesso em: 2020/09/15].

Comissão Europeia (2020b). *European Innovation Scoreboard 2020* [Em linha]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42981> [Acesso em: 2020/09/15].

Drisko, J. & Maschi, T. (2016). *Content Analysis*. New York: Oxford University Press.

Ferrão, S. (2016). Importância da gestão sustentável da *supply chain* para os *stakeholders*, Tese de mestrado em Gestão e Estratégia Industrial. ISEG/Universidade de Lisboa.

Franciosi, C., Iung, B., Miranda, S. & Riemma, S. (2018). Maintenance for Sustainability in the Industry 4.0 context: a Scoping Literature Review. *IFAC Papers On Line*, 51(11), 903–908.

Frank, A., Dalenogare, L. & Ayala, N. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.

Governo Federal Alemão (2018). *German sustainable Development strategy* [Em linha]. Disponível em: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/1588964/1b24acbed2b731744c2ffa4ca9f3a6fc/2019-03-13-dns-aktualisierung-2018-englisch-data.pdf?download=1> [Acesso em: 2020/08/27].

Habib, M. & Chimsom I., C. (2019). Industry 4.0: Sustainability and Design Principles. *20th International Conference on Research and Education in Mechatronics*, Austria, Wels, 23/05/2019.

Jabbour, A., Jabbour, C., Foropon C. & Godinho, M. (2018). When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting & Social Change*, 132, 18-25.

Kayikci, Y. (2018). Sustainability impact of digitization in logistics. *Procedia, Manufacturing*, 21, 782-789.

Khalidi, H. & Prado-Gásco, V., (2020). Bibliometric maps and co-word analysis of the literature on international cooperation on migration. *Quality & Quantity*. <https://doi.org/10.1007/s11135-020-01085-4>

KPMG Portugal (2019) *Indústria 4.0 – Fase II* [Em linha]. Disponível em: <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=178423e7-fe69-4183-8b19-cdddf612de42> [Acesso em: 2020/08/14].

Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. & Ramos, L. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609-3629.

Liu, X., Hong, S. & Liu, Y. (2012). A Bibliometric Analysis of 20 Years of Globalization Research: 1990-2009. *Globalizations*, 9(2), 195-210.

Manavalan, E. & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering* 127, 925–953.

McWilliams, A., Parhankangas, A., Coupet, J., Welch, E., & Barnum, D. (2016) Strategic Decision Making for the Triple Bottom Line. *Business Strategy and the Environment*, 25(3): 193-204.

Ministério Federal dos Assuntos Económicos e Energia (2019). *National Industrial Strategy 2030 - Strategic guidelines for a German and European industrial policy* [Em linha]. Disponível em: [https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Industry/national-industry-strategy-2030.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Industry/national-industry-strategy-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=9) [Acesso em: 2020/08/14].

Muñoz-Leiva, F., Porcu, L. & Barrio-García, S. (2015). Discovering prominent themes in integrated marketing communication research from 1991 to 2012: a co-word analytic approach. *International Journal of Advertising*, 34(4), 678-701.

Müller, J., Kiel, D. & Voigt, K. (2018). What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability. *Sustainability*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/su10010247>.

Müller, J. & Voigt, K. (2018). Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025. *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology*, 5(5), 659-670.

ONU [Organização das Nações Unidas] (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future [Em linha]. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> [Acesso em: 2020/10/05].

ONU [Organização das Nações Unidas] (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development [Em linha]. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> [Acesso em: 2020/10/05].

Qin, J. (2000). Semantic Similarities Between a Keyword Database and a Controlled Vocabulary Database: An Investigation in the Antibiotic Resistance Literature. *Journal Of The American Society For Information Science*. 51(3), 166-180.

Ronda-Pupo, G. & Guerras- Martín, L. (2012). Dynamics Of The Evolution Of The Strategy Concept 1962–2008: A Co-Word Analysis. *Strategic Management Journal*, 33, 162–188.

Silva, A. (2020). *Visão Estratégica para o Plano de Recuperação Económica de Portugal 2020-2030* [Em linha]. Disponível em: <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=2aed9c12-0854-4e93-a607-93080f914f5f> [Acesso em: 2020/09/08].

Stock T. & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536-541.

Stock, T., Obenaus, M., Kunz, S. & Kohl, H. (2018). Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 254-267.

UNIDO [United Nations Industrial Development Organization] (2019). *Industrial Development Report 2020 - Industrializing in the digital age* [Em linha]. Disponível em: [https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO\\_IDR2020-English\\_overview.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO_IDR2020-English_overview.pdf) [Acesso em: 2020/08/14].

UNIDO [United Nations Industrial Development Organization] (2020). *UNIDO in brief* [Em linha]. Disponível em: <https://www.unido.org/who-we-are/unido-brief> [Acesso em: 2020/09/15].

UNIDO [United Nations Industrial Development Organization] [(2018). *Industry 4.0 opportunities behind the challenge* [Em linha]. Disponível em: [https://www.unido.org/sites/default/files/files/2018-11/UNIDO\\_GC17\\_Industry40.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2018-11/UNIDO_GC17_Industry40.pdf) [Acesso em: 2020/08/14].

Xu, L.D., Xu, E. L. & Ling, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of production Research*, 58(8), 2941-2962.

Xu, F. & Ma, L. (2021). Exploring the research themes and their relationships of LIS in China from 2013 to 2018 using co-word analysis. *The Journal of Academic Librarianship*. 47(1). <https://doi.org/10.1016/j.acalib.2020.102295>

Zhang, W., Zhang, Q, Yu, B., Zhao, L. (2015). Knowledge map of creativity research based on keywords network and co-word analysis, 1992–2011. *Quality & Quantity*. 49, 1023–1038.



ANEXO I - REFERÊNCIAS DOS ARTIGOS INCLUÍDOS E EXCLUÍDOS DA  
AMOSTRA  
*ARTIGOS DA AMOSTRA*

Beier, G., Niehoff, S., Ziems, T. & Xue, B. (2017). Sustainability Aspects of a Digitalized Industry – A Comparative Study from China and Germany. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology* 4 (2), 227-234.

Birkel, H., Veile, J., Müller, J., Hartmann, E. & Voigt, K. (2019). Development of a Risk Framework for Industry 4.0 in the Context of Sustainability or Established Manufacturers. *Sustainability*, 11 (384).

Bonilla, S., Silva, H., Silva, M., Gonçalves, R. & Sacomano, J. (2018). Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges. *Sustainability*, 10(3740).

Branger, J. & Pang, Z. (2015). From automated home to sustainable, healthy and manufacturing home: a new story enabled by the Internet-of-Things and Industry 4.0. *Journal of Management Analytics*, 2327(39).

Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M. & Sacconi, N. (2018). Exploring How Usage-Focused Business Models Enable Circular Economy through Digital Technologies. *Sustainability*, 10(639).

Carvalho, N., Chaim, O., Cazarini, E. & Gerolamo, M. (2018). Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive project in sustainable Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 21, 671–678.

Hortelano, D., Olivares, T., Ruiz, M., Garrido-Hidalgo, C. & López, V. (2017). From Sensor Networks to Internet of Things. Bluetooth Low Energy, a Standard for This Evolution. *Sensors*, 17(372).

Jabbour, A., Jabboura C., Foropona C. & Godinho, M. (2018). When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting & Social Change*, 132, 18-25.

Kamble, S., Gunasekaran, A. & Gawankar, S. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408–425.

Kayikci, Y. (2018). Sustainability impact of digitization in logistics. *Procedia Manufacturing*, 21, 782-789.

Kiel, D., Müller, J., Arnold, C. & Voigt, K. (2017). Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0. *XXVIII ISPIM Innovation Conference – Composing the Innovation Symphony*, Austria, Vienna, 18/06/2017.

Lin, K., Shyu, J. & Ding, K. (2017). A Cross-Strait Comparison of Innovation Policy under Industry 4.0 and Sustainability Development Transition. *Sustainability*, 9(786).

Luthra, S. & Mangla, S. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168–179.

Man, J. & Strandhagen, J. (2017). An Industry 4.0 research agenda for sustainable business models. *Procedia CIRP*, 63, 721 – 726.

Müller J., Kiel D. & Voigt, K. (2018). What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability. *Sustainability*, 10(247).

Müller, J. & Voigt, K. (2018). Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025. *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology*, 5(5), 659-670.

Nagy, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D. & Popp, J. (2018). The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain The Case of Hungary. *Sustainability*, 10(3491).

Niakan, F., Baboli, A., Moyaux, T. & Botta-Genoulaz, V. (2015). A bi-objective model in sustainable dynamic cell formation problem with skill-based worker assignment. *Journal of Manufacturing Systems*, 38, 46-62.

Prause, G. & Atari, S., (2017). On Sustainable Production Networks for Industry 4.0. *The International Journal Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 4(4), 421 – 431.

Shrouf, F., Ordieres & J., Miragliotta, G. (2014). Smart Factories in Industry 4.0: A Review of the Concept and of Energy Management Approached in Production Based on the Internet of Things Paradigm. *IEEE IEEM*, 697-701.

Siemieniuch, C., Sinclair, M. & Henshaw, M. (2015). Global drivers, sustainable manufacturing and systems ergonomics. *Applied Ergonomics*, 51, 104-119.

Stock, T. & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536 – 541.

Stock, T., Obenaus, M., Kunz, S. & Kohl, H. (2018). Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 254-267.

Strandhagen, J., Vallandingham, L., Fragapane, G., Strandhagen, J., Stangeland, A. & Sharma, N., (2017). Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. *Advances in Manufacturing*, 5, 359–369.

Waibel, M., Steenkamp, L., Moloko, N. & Oosthuizen, G. (2017). Investigating the effects of Smart Production Systems on sustainability elements. *Procedia Manufacturing*, 8, 731 – 737.

Zhang, Y., Sun, J. & Ma, Y. (2017). Biomanufacturing: history and perspective. *J Ind Microbiol Biotechnol*, 44, 773–784.

*ARTIGOS EXCLUÍDOS DA AMOSTRA*

Amosa, M. (2015). Process optimization of Mn and H<sub>2</sub>S removals from POME using an enhanced empty fruit bunch (EFB)-based adsorbent produced by pyrolysis. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 4, 93–105.

Ofori-Boateng, C. & Lee, K., (2013). Sustainable utilization of oil palm wastes for bioactive phytochemicals for the benefit of the oil palm and nutraceutical industries. *Phytochem Rev*, 12, 173–190.

Schader, C., Muller, A., Scialabba, N., Hecht, J., Isensee, A., Erb, K., Smith, P., Makkar, H., Klocke, P., Leiber, F., Schwegler, P., Stolze, M. & Niggli, U. (2015). Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. *J. R. Soc. Interface*, 12(891).

Springmann, M., Wiebe, K., Mason-D’Croz, D., Sulser, T., Rayner, M. & Scarborough, P. (2018). Health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their association with environmental impacts: a global modelling analysis with country-level detail. *Lancet Planet Health*, 2, 451–61.

ANEXO II - ORDENAÇÃO E NÚMERO DE CITAÇÕES DOS ARTIGOS DA  
AMOSTRA

TABELA VIII – Ordenação e número de citações dos artigos da amostra

Nº	Título do artigo	Citações
1	Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0	395
2	Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm	295
3	What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability	116
4	Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives	90
5	When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors	84
6	Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0	77
7	Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies	57
8	The role and impact of industry 4.0 and the internet of things on the business strategy of the value chain-the case of Hungary	48
9	Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies	46
10	Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential	45
11	On sustainable production networks for industry 4.0	43
12	Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenge	40
13	Global drivers, sustainable manufacturing and systems ergonomics	39
14	Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025	38
15	An Industry 4.0 Research Agenda for Sustainable Business Models	37
16	Sustainability aspects of a digitalized industry – A comparative study from China and Germany	36
17	From sensor networks to internet of things. Bluetooth low energy, a standard for this evolution	36
18	Biomanufacturing: history and perspective	35
19	From automated home to sustainable, healthy and manufacturing home: a new story enabled by the Internet-of-Things and Industry 4.0	33
20	A bi-objective model in sustainable dynamic cell formation problem with skill-based worker assignment	32
21	Investigating the Effects of Smart Production Systems on Sustainability Elements	31
22	Development of a risk framework for Industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers	28
23	Sustainability impact of digitization in logistics	27
24	Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing	27
25	Logistics 4.0 and emerging sustainable business models	27
26	A cross-strait comparison of innovation policy under industry 4.0 and sustainability development transition	26

Fonte: Elaboração própria

ANEXO III - APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA TRATAMENTO DOS DADOS  
OBTIDOS NA AMOSTRA

TABELA IX – Aplicação dos critérios C3 a C5

<b>C3 - As siglas foram contabilizadas nas respectivas palavras por extenso</b>		
BLE (artigo 17) = Bluetooth Low Energy; CE (artigo 9) = “circular economy”; IIOT (artigo 6) = Industrial Internet of Thing; SME (artigo 14) = “Small and midium-sized enterprises”; TBL (artigo 6) = Triple Bottom Line.		
<b>C4 - Estabeleceu-se equivalência entre termos com ligeiras variações ortográficas</b>		
“big data analytics” (artigo 12) = “Big Data & Analytics” (artigo 9); “production in networks” (artigo 11) = production networks (artigo 11); computerization (artigo 26) = computerisation (artigo 21); minimized (artigo 20) = minimised (artigo 13); Internet-of-things (artigos 19 e 26) = Internet of things; Industrial Internet (of things) (artigo 16) = Industrial Internet of things; create value (artigo 21) = value creation; Environmental-side (artigo 26) = environmental; demand-side (artigo 26) = demand.		
<b>C5 - Uniformização singular/plural</b>		
Pares de palavras (sing./plural)	Pares de palavras (sing./plural)	Pares de palavras (sing./plural)
Activity / activities; Advance / advances; Application / applications; Approach / approaches; Area / areas; Benefit / benefits; Body / bodies; Business model / business models; Business / businesses; Capture / captures; Case study / case studies; Case / cases; Cell / cells; Challenge / challenges; Change / changes; Company / companies; Concept / concepts; Contribute / contributes; Contribution / contributions; Cost / costs; Country / countries; Customer / customers; Cyber-physical system (CPS) / cyber-pshysical systems; Development / developments; Dimension / dimensions; Dynamic / dynamics; Effect / effects; Element / elements; Employee / employees; Environment / environments;	Experience / experiences; Extension / extensions; Factory / Factories; Form / forms; Fractal / fractals; Fundamental/fundamentals; Home / homes; Household appliance / households appliances Human / Humans, Impact / impacts; Improvement/improvements; In vitro synthetic biosystem / In vitro synthetic biosystems; Industry / industries; Innovation / innovations; Input / inputs; Job / jobs; Logistic / logistics; Manufacturing system / Manufacturing systems; Material / materials; Model / models; Operation / operations; Opportunity/opportunities; Paper / papers; Paradigm / paradigms; Perspective / perspectives; Platform / platforms; Policy / policies; Positive / positives; Problem / problems;	Process / processes; Product / products; Provider / providers; Questionnaire/questionnaire s; Raw material / Raw materials; Requirement / requirements; Resource / Resources; Response / responses; Result / results; Revolution / revolutions; Risk / risks; Sample / samples; Sensor network / sensor networks; Service / services; Smart factory / smart factories; Study / studies; Supply chain / supply chains; Survey / surveys; System / systems; technology / technologies; Term / terms; Time / times; Topology / topologies; Transformation/transformations; Type / types; User / users; Value chain / value chains; Wave / waves; Work / works; World / worlds;

Fonte: Elaboração própria

TABELA X – Aplicação do critério C6

<b>C6 - Agrupamento de palavras com a mesma raiz ou mesmo significado</b>			
<b>Palavra do agrupamento</b>	<b>Palavra “eliminada”</b>	<b>Palavra do agrupamento</b>	<b>Palavra “eliminada”</b>
Achieve	Achieved Achieving	Create	Creates Creating
Adapt	Adaptation	Cyber-physical System/s	cyber-physical equipment Cyber-Physical Production System (CPPS)
Address	Addresses Addressed	Decentralization	Decentralized
Adoption	Adopts Adopting Adopted	Definition	Defines
Advance/s	Advanced	Deliver	Delivered Delivering
Aiming	Aims	Describe	Described
Allow	Allowing	Designing	Design Designed
Analysis	Analytical Analytics Analyze Analyzed Analyzing	development/s	Developed Developing Develops Develop
Application/s	Applying Applied	Digitalization	Digital Digitalizing Digitalized
Approach/es	Approached	Discover	Discovered
Attracting	Attracted	Discuss	Discussed Discusses Discussion
Automation	Automated Automating	Drive	Driven
Benefits/ benefit	Beneficial	Efficiency	Efficient
Bring	Bringing	Emphasis	Emphasizes
Called	So-called	Enable	Enabled enabler enabling
Change/changes	Changed Changing	Environmental	Environmental-side
Communication	Communicate	Evaluate	Evaluated Evaluating Evaluation
Comparison	Comparing Compared Comparative	Exist	Existence
Competitiveness	Competition	Expansion	Expand
Comprising	Comprises	Expected	Expect
Conducted	Conduct	Exploring	Explores
Configurations	Configuring	Face	Faced
Connected	Connections Interconnected	Factory of the Future	Future of manufacturing

Fonte: Elaboração própria

Continuação da TABELA X – aplicação do critério C6

<b>C6 - Agrupamento de palavras com a mesma raiz ou mesmo significado</b>			
<b>Palavra do agrupamento</b>	<b>Palavra “eliminada”</b>	<b>Palavra do agrupamento</b>	<b>Palavra “eliminada”</b>
Considered	Considering Considerable Consider	Fermentation	Fermented
Consumption	Consumer	Findings	Find
Contribute/s	contribution/s Contributors	Flexibility	Flexible
Focuses	Focus Focused Focusing	Large	Larger
Following	Followed	Leading	Lead
Gain	Gaining	Legal	Laws Legal/regulatory
German	Germany	Life	Lifecycle
German industry sectors	German industries	Logistic/s	logistic service logistical
Gives	Given	Logistics 4.0	Smart logistic
Going	Gone	Low	Lower
Growing	Growth	Machines	Machinery
Help	Helping	Makes	Make
Human/s	Human existence Humankind People	Management	Managerial Managers
Identified	Identifies Identify Identifying	Manufacturing	Manufacturers
Implementation	Implemented Implementing	manufacturing companies	Manufacturing firms
Implication	Implies	Manufacturing industry	Industrial manufactures
Importance	Important	Need	Needed Needs
improvement/s	Improved Improves Improving	Network	Networking Networked Network-orientation Network scalability
Increased	Increase Increasing	Offerings	Offers
Industrial Internet of Things (IIoT)	Industrial internet	Operation/s	Operational Operating Operates
industrial sector	industry sectors	Organizational	Organizations
Industry 4.0	Industrie 4.0 fourth industrial revolution fourth stage of industrialization Industrial Revolution 4.0	Perceived	Perceiving
Industry/ies	Industrialization Industrialized	Plan	Planning

Fonte: Elaboração própria

Continuação da TABELA X – aplicação do critério C6

<b>C6 - Agrupamento de palavras com a mesma raiz ou mesmo significado</b>			
<b>Palavra do agrupamento</b>	<b>Palavra “eliminada”</b>	<b>Palavra do agrupamento</b>	<b>Palavra “eliminada”</b>
Integration	Integrate Integrated Integrating Integrative	Play	Played
Intelligentization	Intelligent	Point	Pointed
Interesting	Interest	Production	Produce Produced
Introduction	Introducing	Productivity	Productive
Investigated	Investigating Investigation Investigate Investigates	Promising	Promise Promises
Investments	Investing	Proposes	Proposed Propose
Job/s	Profession Labor Job creation employ education/training working conditions Professionals Worker Employee/s	Reveal	Revealed
Review	Reviewing	Supporting	Support
See	Seen	Sustainable business models	Sustainable business
Seek	Seeks	Sustainable development	Sustainable development goals Sustainability development
Servitization	Servitized	Systems ergonomics	Ergonomics/Human Factors
Shape	Shaped	Take	Taking
Show	Shown Shows	Technology/ies	Technological information technology (IT)
Skills	Skill-based	Tooling	Tools
Small	Samller	Transformation/s	Transformative Transforming
Smart factory	Factory of the Future Future of manufacturing	Understand	Understanding
Smart Production Systems	Smart production	Use User/s	Used Using Usage-Focused Usage
Stimulate	Stimulated	Value creation	Value-creating processes
Strategy	Strategic	Variety	Varying Variants
study /studies	Studying	Viability	Viable
Suggestions	Suggest Suggests	Virtual	Virtualization
Suppliers	Supply-side	World/s	Worldwide

Fonte: Elaboração própria



**ANEXO IV - AGRUPAMENTOS E PALAVRAS INCLUÍDAS EM CADA AGRUPAMENTO**

**TABELA XI - Agrupamentos e palavras incluídas em cada agrupamento**

<b>Agrupamento</b>	<b>K</b>	<b>Palavras</b>		<b>Frequência Total</b>	<b>n° de artigos</b>	<b>%artigos</b>
Industry 4.0	K	Industrie 4.0	8	115	25	96,15%
		fourth industrial revolution	5			
		fourth stage of industrialization	1			
		Industrial Revolution 4.0	1			
	K	Industry 4.0	100			
Sustainability	K	sustainability	50	50	23	88,46%
Manufacturing	K	manufacturing	18	34	17	65,38%
		manufactures	3			
		manufacturing firms	1			
	K	manufacturing companies	6			
		industrial manufactures	1			
		manufacturing industry	2			
		manufacturing system/s	3			
Challenges/Challenge	K	Challenge/s	32	32	9	34,62%
Business Model		business/businesses	9	29	10	38,46%
	K	business intelligence	1			
	K	business model/ business models	13			
		sustainable business	1			
		sustainable business models	4			
	K	circular business model	1			
New		new	27	27	12	46,15%
Production		Production	22	27	14	53,85%
		produce	1			
		produced	2			
		production process	1			
		production systems	1			
Economy		circular economy (CE)	6	25	12	46,15%
	K	emerging economies	3			
		emerging industrial economy	1			
		Economic	9			
		economic sustainability	1			
		economies of scale	1			
		global economies	1			
		financial	3			
Internet of Things (IoT)	K	Internet of Things (IoT)	24	24	10	38,46%
Sustainable		Sustainable	9	22	12	46,15%
	K	Sustainable Manufacturing	8			
	K	Sustainable operations	1			
		Sustainable Outcomes	1			
		sustainable processes	1			
	K	sustainably	1			
		sustainable world	1			

Fonte: Elaboração própria

Continuação da TABELA XI - Agrupamentos e palavras incluídas em cada agrupamento

<b>Agrupamento</b>	<b>K</b>	<b>Palavras</b>		<b>Frequência Total</b>	<b>n° de artigos</b>	<b>%artigos</b>
Policy		Governments	2	22	7	26,92%
		legal	3			
		laws	1			
		legal/regulatory	1			
	K	innovation policy	3			
		policy makers	1			
		policy making	2			
		political	3			
		policy/policies	6			
Technologies/ Technology		technological	1	21	13	50,00%
		information technology (IT)	1			
		technologies/ Technology	19			
Digital	K	Digital logistics ecosystem	1	20	8	30,77%
		Digital Technologies	5			
		digitalized	1			
		digitalizing	1			
		digital	3			
		digitalized industry	1			
	K	digital transformation	2			
	K	Digitalization	6			
Environmental		Environmental	11	20	9	34,62%
	K	environmental sustainability	1			
	K	environmentally- sustainable manufacturing	8			
Product/s		product/s	19	19	12	46,15%
Energy		energy	3	18	9	34,62%
		energy consumption	5			
	K	Energy Management	3			
		energy security	2			
	K	Bluetooth low energy	4			
		renewable energy	1			
Impacts/ Impact	K!	impact/ impacts	18	18	7	26,92%
Smart		smart	1	18	6	23,08%
	K	Smart Manufacturing	3			
		smart production	1			
	K	Smart Production Systems	5			
		future of manufacturing	1			
		Factory of the future	1			
	K	smart factory/smart factories	6			
Industrial		Industrial	6	18	10	38,46%
		industrial organizations	1			
		industrial process	1			
		Industrial production	3			
		industrial revolution	2			
		industry sectors	2			
		industrial sector	3			

Fonte: Elaboração própria

Continuação da TABELA XI - Agrupamentos e palavras incluídas em cada agrupamento

<b>Agrupamento</b>	<b>K</b>	<b>Palavras</b>		<b>Frequência Total</b>	<b>n° de artigos</b>	<b>%artigos</b>
Integration	K	integrated services	1	17	11	42,31%
		integrated	5			
		integrate	1			
		integrating	2			
		integrative	1			
		integration	7			
Supply Chain		suppliers	4	16	6	23,08%
		supply chain/s	6			
	K	Supply chain management	1			
		sustainable supply chains	1			
		supply chain sustainability	4			
Value Creation		industrial value creation	5	16	8	30,77%
		Sustainable Industrial Value Creation	3			
		create value	1			
		value-creating processes	1			
	K	value creation	3			
		Sustainable value creation	3			
Social		Social	15	16	9	34,62%
	K	Social Manufacturing	1			
Big Data & Analytics		data	8	15	10	38,46%
	K	Big data	4			
	K	Big Data & Analytics	2			
		Big Data Technologies	1			
Industries/ Industry		industrialization	1	15	9	34,62%
		re-industrialization	1			
		industrialized	1			
	K	industry revitalization	1			
		industrialized countries	1			
		industry/industries	10			
Jobs/ job		education/training	1	15	8	30,77%
		employ	1			
		job creation	1			
		profession	1			
		working conditions	1			
		employee/s	2			
		worker	2			
		professionals	2			
		labor	1			
		Job/ jobs	3			
	Implementation		implementing			
		implemented	1			

Fonte: Elaboração própria