

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO – UNINOVE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEONILDO FREITAS GOMES

**MODELO CONCEITUAL DAS RELAÇÕES DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS DA
INDÚSTRIA 4.0 COM A GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS
SUSTENTÁVEL**

São Paulo

2023

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO – UNINOVE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEONILDO FREITAS GOMES

**MODELO CONCEITUAL DAS RELAÇÕES DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS DA
INDÚSTRIA 4.0 COM A GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS
SUSTENTÁVEL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador. Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz

São Paulo

2023

Gomes, Leonildo Freitas.

Modelo conceitual das relações das tecnologias digitais da indústria 4.0 com a gestão da cadeia de suprimentos sustentável. / Leonildo Freitas Gomes. 2023.

93 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2023.

Orientador (a): Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz.

1. Indústria 4.0. 2. Sustentabilidade. 3. Sustentável. 4. Cadeia de Suprimentos.

I. Librantz, André Felipe Henriques. II. Título

CDU 658.5

Dedico este trabalho aos que chegaram até o fim e aos que ficaram pelo caminho, todos contribuíram imensuravelmente para a obtenção desta vitória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a UNINOVE, por ter dado a oportunidade deste trabalho acontecer e a CAPES por contribuir financeiramente, tornando possível a conclusão deste trabalho.

A minha família por ter me apoiado durante todo o percurso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz e ao coorientador Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto que me orientaram e acreditaram em mim.

Aos Prof. Drs. Wagner Cezar Lucato e a Rosangela Maria Vanalle pelas contribuições valiosas que ajudaram tanto na construção dessa pesquisa, como no meu crescimento enquanto pesquisador e no crescimento pessoal.

Aos demais professores e profissionais da UNINOVE, que contribuíram de forma imensurável para a finalização deste trabalho.

Agradeço a todas as coisas que deram errado, pois permitiram que eu crescesse.

RESUMO

Para auxiliar com a continuação da competitividade empresarial, novas estratégias e formas de gestão são adotadas pelas organizações. Com a crescente importância do desenvolvimento sustentável, o conceito de sustentabilidade vem sendo integrado na cadeia de suprimentos, chamado de Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável (GCSS). As empresas enfrentam barreiras para a implementação de práticas sustentáveis, mas as tecnologias digitais da Indústria 4.0 estão estabelecendo suporte a estas práticas. As tecnologias digitais da Indústria 4.0, possuem o potencial para alavancar e consolidar iniciativas de sustentabilidade nas cadeias de suprimentos, pois possibilita ganhos do *Triple Bottom Line* (TBL) que é o tripé da sustentabilidade, para uma ação ser considerada sustentável precisa atender ao TBL. Esse trabalho tem como objetivo elaborar um modelo conceitual das relações das tecnologias da Indústria 4.0 na GCSS. Para isso foi realizado uma revisão bibliométrica e sistemática sobre os efeitos das Tecnologias Digitais I4.0 (TDI4.0) na GCSS e foram encontradas oito tecnologias abordadas na literatura pesquisada, e vinte e cinco ganhos sustentáveis, sendo destes seis ganhos sociais, dez ganhos econômicos e nove ganhos ambientais. O modelo conectou cada ganho identificado com as tecnologias da Indústria 4.0, tendo como suporte a revisão da literatura. Para a verificação da aceitação do modelo foi utilizado o instrumento de pesquisa do tipo questionário aplicado junto a especialistas nas Tecnologias Digitais da Indústria 4.0. Entre os resultados encontrados a IoT possibilita o aumento da saúde e segurança do trabalho, reduz custos e desperdícios. Como contribuição prática possibilita a empresa averiguar quais tecnologias atendem determinado ganho sustentável e que precisam melhorar, promovendo práticas sustentáveis e mantendo a competitividade do mercado. Como contribuição teórica reúne artigos de dois temas relevantes, fornecendo lacunas de pesquisas. Como contribuição para a sociedade, a utilização do modelo proposto pode contribuir na promoção de práticas sustentáveis e possibilita atingir as metas estabelecidas por órgãos regulamentadores.

Palavra-chave: Indústria 4.0, Sustentabilidade, Sustentável, Cadeia de Suprimentos.

ABSTRACT

To help with the continuation of business competitiveness, new strategies and forms of management are adopted by organizations. With the growing importance of sustainable development, the concept of sustainability is being integrated into the supply chain, called Sustainable Supply Chain Management (GCSS). Companies face barriers to implementing sustainable practices, but Industry 4.0 digital technologies are establishing support for these practices. Industry 4.0 digital technologies have the potential to leverage and consolidate sustainability initiatives in supply chains, as it enables gains from the Triple Bottom Line (TBL), which is the sustainability tripod, for an action to be considered sustainable it needs to meet the TBL. This work aims to develop a conceptual model of the relationships between Industry 4.0 technologies in the GCSS. For this, a bibliometric and systematic review was carried out on the effects of Digital Technologies I4.0 (TDI4.0) in the GCSS and eight technologies addressed in the researched literature were found, and twenty-five sustainable gains, of which six social gains, ten gains economic and nine environmental gains. The model connected each identified gain with Industry 4.0 technologies, supported by the literature review. To verify the acceptance of the model, a questionnaire-type research instrument was used with specialists in Digital Technologies of Industry 4.0. Among the results found, IoT enables increased health and safety at work, reduces costs and waste. As a practical contribution, it enables the company to find out which technologies meet a certain sustainable gain and which needs to be improved, promoting sustainable practices and maintaining market competitiveness. As a theoretical contribution, I gathered articles on two relevant topics, providing research gaps. As a contribution to society, the use of the proposed map can contribute to the promotion of sustainable practices and makes it possible to achieve the goals established by regulatory bodies. Keywords: Industry 4.0, Sustainability, Sustainable, Supply Chain.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de seleção de artigos.....	19
Figura 2 – Respostas.....	23
Figura 3 – Funcionamento do CPS.....	27
Figura 4 – Funcionamento do <i>Blockchain</i>	29
Figura 5 – Cadeia de Suprimentos.....	32
Figura 6 – Diferença entre VERDE e SUSTENTÁVEL.....	33
Figura 7 – Publicações por ano	36
Figura 8 – Relação das palavras-chave.....	37
Figura 9 – Os dez países com mais publicações.....	38
Figura 10 – As dez revistas com mais publicações	39
Figura 11 – Os quinze autores com mais publicações.....	39
Figura 12 – Metodologia utilizada.....	40
Figura 13 – Tecnologias Digitais mais pesquisadas.....	41
Figura 14 – Mapa Conceitual: As relações do GD com a GCSS	62
Figura 15 – Mapa Conceitual: As relações da IoT com a GCSS	63
Figura 16 – Mapa Conceitual: As relações do BDA com a GCSS.....	64
Figura 17 – Mapa Conceitual: As relações do BC com a GCSS.....	65
Figura 18 – Mapa Conceitual: As relações da RA com a GCSS.....	66
Figura 19 – Mapa Conceitual: As relações do VA com a GCSS	67
Figura 20 – Mapa Conceitual: As relações da MA com a GCSS.....	68
Figura 21 – Mapa Conceitual: As relações da CN com a GCSS.....	69
Figura 22 – Síntese do grau de concordância das relações.....	71
Figura 23 – Agrupamento das questões por Ganhos Sustentáveis	72
Figura 24 – Respostas dos entrevistados	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relação de Palavras-chave	18
Quadro 2 – Siglas e perguntas	23
Quadro 3 – Análise de conteúdo das publicações de 2016 e 2017	50
Quadro 4 – Análise de conteúdo das publicações de 2018.....	51
Quadro 5 – Análise de conteúdo das publicações de 2019.....	52
Quadro 6 – Análise de conteúdo das publicações de 2020.....	54
Quadro 7 – Análise de conteúdo das publicações de 2021.....	57
Quadro 8 – Análise de conteúdo das publicações de 2022.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV – Análise do Ciclo de Vida

BC – Blockchain

BDA – *Big Data Analytics*

CAD – Desenho auxiliado por computador

CD – Centro de Distribuição

CN – Computação em Nuvem

CPS -Cyber Physical System

GCSS – Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável

GD – Gêmeos Digitais

IoT – *Internet of Things*

ISO – International Standard Organization

MA – Manufatura Aditiva

ONU – Organizações das Nações Unidas

RA – Realidade Aumentada

RFID -Radio-frequency Identification

SSCM – Sustainable Supply Chain Management

TBL – Triple Bottom Line

TDI4.0 – Tecnologias Digitais da Indústria 4.0

VA – Veículos Autônomos

WCED – World Commission on Environment and Development

SUMÁRIO

1	Introdução.....	12
1.1	Contextualização.....	12
1.2	Delimitação do estudo	14
1.3	Problema de Pesquisa	14
1.4	Objetivo Geral.....	15
1.4.1	Objetivos específicos	15
1.5	Justificativa	15
1.6	Estrutura do trabalho.....	16
2	Metodologia	17
2.1	Revisão da Literatura	17
2.1.1	Revisão Bibliométrica e Sistemática.....	17
2.1.2	Suporte da Revisão Bibliométrica e Sistemática	19
2.2	Modelo Conceitual.....	20
2.2.1	Etapas de elaboração do modelo conceitual	20
2.3	Etapas da verificação do Modelo conceitual	21
2.3.1	Questionário	21
2.3.2	Análise dos dados.....	22
3	Revisão da Literatura	26
3.1	Tecnologias Digitais I4.0.....	26
3.1.1	Cyber Physical System.....	26
3.1.2	Big Data Analytics	27
3.1.3	Manufatura Aditiva	28
3.1.4	Blockchain	29
3.1.5	Internet of Things.....	29
3.1.6	Veículo Autônomos	30
3.1.7	Computação em Nuvem.....	31
3.1.8	Realidade Aumentada	31
3.1.9	Gêmeos Digitais	32
3.2	Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável	32
3.2.1	Ganhos Econômicos.....	34
3.2.2	Ganhos Ambientais	34
3.2.3	Ganhos Sociais	35
3.3	Revisão Bibliométrica Sobre as tecnologias da Indústria 4.0 e GCSS	35
3.3.1	Evolução das publicações	35
3.3.2	Relação de palavras-chave	36
3.3.3	Publicações por países	38

3.3.4	Publicações por periódicos.....	38
3.3.5	Publicações por autor	39
3.3.6	Metodologias utilizadas	40
3.3.7	Relação das publicações e TDI4.0 abordadas	40
3.3.8	Revisão sistemática: As TDI4.0 na GCSS	42
3.3.9	Revisão sistemática: IoT na GCSS	44
3.3.10	Revisão sistemática: <i>Blockchain</i> na GCSS	44
3.3.11	Revisão sistemática: BDA na GCSS.....	45
3.3.12	Revisão sistemática: Manufatura Aditiva na GCSS	46
3.3.13	Revisão sistemática: Veículo Autônomo na GCSS	46
3.3.14	Revisão sistemática: Realidade Aumentada na GCSS.....	47
3.3.15	Revisão sistemática: Gêmeos Digitais na GCSS	47
3.3.16	Revisão sistemática: Combinação de TDI4.0 na GCSS	47
4	Resultados	50
4.1	Mapa conceitual	61
4.2	Aplicações.....	70
4.3	Verificação da aceitação do modelo conceitual.....	71
5	Considerações Finais.....	73
	Referências	75
	ANEXO A	92

1 INTRODUÇÃO

Nesse capítulo é apresentada a contextualização deste trabalho, referente à utilização das tecnologias Digitais da Indústria 4.0 na gestão da cadeia de suprimentos sustentável. Na sequência, são apresentados a delimitação do tema, definindo os limites de interesse dessa pesquisa. E por fim, o problema e pergunta de pesquisa, objetivos, justificativa e a estrutura do trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A competição global estimula as organizações a inovarem em novas estratégias, inovar na cadeia de suprimentos é garantir a eficácia operacional e a competitividade frente ao mercado e as novas necessidades dos consumidores (CAVALCANTI, 2020).

Com o aumento da competição global e a integração das economias a distribuição dos produtos, mercados e preferenciais dos consumidores tem se modificado, estimulando as empresas a concentrarem seus recursos com precisão e incorporando estratégias inovadoras (LUCATO *et al.*, 2014). Pois, somente focar nas eficiências internas e nos processos da cadeia de suprimentos, não será suficiente para que as organizações ganhem ou mantenham posição competitiva no mercado (ANSARI e KANT, 2016).

O desenvolvimento sustentável tornou-se uma estratégia competitiva quando em 1987 a *World Commission on Environment and Development* (WCED) evidenciou a necessidade das gerações presentes de preparar o desenvolvimento sustentável através de tecnologias e produtos mais limpos (WCED, 1987) e (CORREIA, 2020). Com a crescente importância da sustentabilidade, os pesquisadores do gerenciamento de cadeia de suprimentos estão integrando o fator sustentabilidade para impulsionar o desenvolvimento neste campo chamado de Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável (GCSS) (BUI *et al.*, 2020). Para uma cadeia de suprimentos ser chamada de sustentável, os integrantes da cadeia precisam atender ao *Triple Bottom Line* (TBL), ou seja, suas atividades precisam alcançar de forma simultânea os ganhos sociais, econômicos e ambientais (ELKINGTON e ROWLANDS, 1999).

A busca por atender os requisitos da sustentabilidade nas principais funções de negócios da cadeia de suprimentos permite que as organizações satisfaçam requisitos para alcançar e manter a competitividade, não garantidos pela atuação tradicional (ANSARI e KANT, 2016) e (KHODAKARAMI *et al.*, 2015).

A GCSS é a relação da gestão de materiais, informações e capital, assim como a cooperação entre as empresas em toda a cadeia de suprimentos, objetivando atingir as três dimensões do desenvolvimento sustentável, isto é, social, econômico e ambiental (SEURING e MÜLLER, 2008). Dessa forma a GCSS visa a obtenção da justiça social, prosperidade econômica e qualidade do meio ambiente dentro da cadeia de suprimentos (ELKINGTON e ROWLANDS, 1999).

Avaliar o desempenho da sustentabilidade de uma cadeia de suprimentos, envolve o uso de métricas relacionadas às dimensões sociais, econômicas e ambientais (OSIRO, LIMA-JÚNIOR e CARPINETTI, 2018). Como é disposto por Walker e Jones (2012), as organizações se deparam com barreiras e impulsionadores para a cadeia de suprimentos sustentável. E estas podem ser externas ou internas (HERVANI, HELMS e SARKIS, 2005).

Entre os impulsionadores externos é exemplo, em âmbito internacional, a *International Standard Organization* (ISO), a ISO 14001 que tem por objetivo melhorar a performance ambiental das organizações por meio de padronizações na gestão ambiental (ISO, 2021). Em âmbito nacional, no Brasil a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, aborda o conceito de responsabilidade compartilhada, isto é, todos os elementos que tiveram contato com o produto são responsáveis por sua destinação final, então os fornecedores, fabricantes e clientes, são responsáveis pelo descarte correto dos resíduos gerados (BRASIL, 2010).

A ONU 2030 é uma agenda global composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável que foram adotados pelos Estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) em setembro de 2015. Essa agenda visa promover o desenvolvimento sustentável, abordando questões fundamentais como a erradicação da pobreza, a promoção da igualdade de gênero, a proteção do meio ambiente e a promoção da paz e da justiça social (TJCE, 2020).

A Indústria 4.0, tem potencial para dar suporte para as organizações alcançarem suas metas sustentáveis. Em 2011, é citado pela primeira vez o termo Indústria 4.0 em Hannover na Alemanha, sendo referida como um plano de revitalização industrial por meio da informatização em massa de toda a indústria (RAJPUT e SINGH, 2019). Rüßmann *et al.* (2015) contabilizam nove tecnologias que compõem a Indústria 4.0. Mas, a Indústria 4.0 não se caracteriza apenas pela informatização, mas também por uma mudança de gestão, pois se estas tecnologias fossem implementadas e a estrutura física, cultural e pessoal das organizações não

acompanhar as mudanças, apenas ocasionará desperdício (SCHUH *et al.*, 2020), (ARAGON, 2020).

Entre os principais benefícios da aplicação das Tecnologias Digitais da Indústria 4.0 (TDI4.0) na cadeia de suprimentos estão a melhoria na flexibilidade, padrões de qualidade, eficiência e produtividade (TJAHJONO *et al.*, 2017). Para Ghobakhloo e Fathi (2021), além de otimizar os processos da cadeia de suprimentos, as TDI4.0, possuem o potencial para alavancar e consolidar iniciativas de sustentabilidade nas cadeias de suprimentos, pois contribuem com o tripé da sustentabilidade. A Indústria 4.0 e o desenvolvimento sustentável compartilham muitos fundamentos comuns, enfatizando a eficiência, produtividade e melhoria contínua (CHING *et al.*, 2021).

Assim pode-se relacionar estes dois conceitos, onde as TDI4.0 dão suporte para os objetivos da GCSS, proporcionando ganhos econômicos, reduzindo o impacto negativo no meio ambiente e na sociedade.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Para essa pesquisa a delimitação de estudo aconteceu por assunto, ou seja, dentro do conjunto de campos de estudos que compõem a GCSS e a Indústria 4.0 foram selecionados nichos para serem estudados. Em relação a GCSS, foram estudadas as relações do tripé da sustentabilidade, desconsiderando o nível de gestão devido à falta de acesso. Para a Indústria 4.0, foram analisadas as tecnologias digitais elencadas no artigo de Rüßmann *et al.* (2015) por ter sido um dos artigos que inspirou essa dissertação, foi desconsiderado tecnologias que não são digitais e as mudanças culturais que são necessárias para a transformação digital, pois ampliaria o escopo do trabalho necessitando de mais tempo e recursos.

Para a verificação da aceitação do modelo foi aplicado o instrumento de questionário com especialistas, por ser um instrumento mais acessível e rápido de aplicação.

Com essas limitações foram analisadas as relações das TDI4.0 com o TBL, sendo desenvolvido um mapa conceitual que serve de base para aplicação em qualquer setor.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A revisão sistemática disponível no capítulo 3, forneceu uma base de informações e lacunas de pesquisa que serviram para o desenvolvimento desse trabalho, entre as lacunas nota-se que não são plenamente conhecidas as relações entre as tecnologias da I4.0 e a GCSS.

Conhecer as relações entre conceitos contribui para a adoção dessa estratégia, como no trabalho de Hong *et al.* (2021), demonstrou que a aplicação das TDI4.0 suportam o TBL da GCSS, possibilitando a redução dos custos logísticos e gerais, além de proporcionar ganhos sustentáveis.

De Oliveira Neto, Da Conceição Silva e Filho (2022) mostraram em seus resultados a relação entre a Tecnologia da Indústria 4.0, as ferramentas ecoeficientes, a Economia Circular e os princípios da sustentabilidade. Mostrou-se que as empresas e pesquisadores utilizam ferramentas de ecoeficiência em conjunto com as Tecnologias I4.0 ao buscar a sustentabilidade em suas decisões de desempenho. No entanto, não abordam quais os caminhos para a integração entre esses dois conceitos.

Com isso, estes estudos foram o ponto de partida para esta dissertação, seguindo os passos de De Oliveira Neto, Da Conceição Silva e Filho (2022), mas ao final foi elaborado um modelo conceitual para a relação entre as TDI4.0 e a GCSS. E para ilustração do modelo foi utilizado o mapa conceitual que é uma forma gráfica de organização e demonstração do conhecimento (NOVAK e CAÑAS, 2010).

Nesse contexto, a questão de pesquisa dessa dissertação consiste em: Que modelo pode representar as relações entre as TDI4.0 e a GCSS?

1.4 OBJETIVO GERAL

Para responder à questão de pesquisa apresentada na seção 1.3, será considerado o seguinte objetivo:

- Desenvolver e verifica a aceitação de um modelo conceitual da relação das Tecnologias Digitais da I4.0 na GCSS.

1.4.1 Objetivos específicos

- Identificar na literatura os conceitos das Tecnologias I4.0 na GCSS;
- Verificar a aceitação do mapa conceitual das relações das Tecnologias da I4.0 na GCSS.

1.5 JUSTIFICATIVA

Essa pesquisa se justifica devido ao fato que as organizações necessitam manter a competitividade no mercado, agrupando, organizando e relacionando os relevantes temas TDI4.00 e GCSS. Temas importantes por estarem alinhados com as tendencias do mercado, as

organizações que objetivam as questões sustentáveis têm a preferência de investidores e consumidores (VALVERDE, 2020), (FADC, 2021). O trabalho também, na fundamentação teórica, apresenta os suportes que as TDI4.0 dão para o tripé da sustentabilidade.

Na fundamentação teórica uma revisão bibliométrica e sistemática é importante porque contribui para analisar a literatura por meio de etapas, aglomerando e filtrando os principais trabalhos a respeito do assunto estudado, fornecendo uma base teórica para responder à questão de pesquisa. Por outro lado, um mapa conceitual compila, organiza e ilustra um determinado assunto para quem está analisando-o, evitando que os interessados necessitem ler todos os trabalhos sobre o assunto.

A questão de pesquisa foi formulada para suprir uma lacuna identificada na literatura e contribuir para o desenvolvimento sustentável. O modelo conceitual desenvolvido organiza e ilustra as relações entre as TDI4.0 na GCSS, de forma que possibilitam tomadas decisões sustentáveis por parte das cadeias de suprimentos, respondendo à questão de pesquisa.

Em suma, este trabalho também contribui a identificação de outras lacunas de pesquisa, possibilitando material para futuras pesquisas, além de reunir informações para os profissionais atuantes e órgãos reguladores, e dessa forma incentivar e impulsionar o desenvolvimento de cadeias de suprimentos sustentáveis.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em cinco capítulos, sendo eles:

O primeiro capítulo introduz o assunto, abordando aspectos referentes ao tema do trabalho, seus objetivos e justificativas.

O segundo capítulo é de característica metodológica para detalhamento das técnicas de coleta de dados, assim como a estrutura que proporciona suporte a esta dissertação.

O terceiro capítulo é composto por uma revisão bibliométrica e sistemática para identificar a relação que as TDI4.0 exercem na GCSS.

O quarto capítulo expõe o mapa conceitual elaborado e os resultados dos questionários com especialistas.

O quinto e último capítulo conclui a dissertação com as considerações finais, limitações da pesquisa e estudos futuros que permitirá a ampliação do assunto estudado.

2 METODOLOGIA

Nessa seção é apresentada a metodologia de pesquisa utilizada para a realização deste trabalho, no qual desenvolveu-se uma revisão bibliométrica e sistemática para identificar contribuições teóricas e lacunas de pesquisas. Pois, conforme Pritchard (1969) por meio de estudos bibliométricos quantitativos é possível identificar e analisar o perfil das publicações.

Nessa dissertação foi adotado objetivo exploratório com abordagens qualitativas e quantitativas, pois conforme Amaratunga *et al.* (2002) esta combinação das abordagens possibilita um entendimento melhor dos problemas de pesquisa, o que não seria possível com uso de somente uma delas.

2.1 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura se discorreu por meio da revisão bibliométrica e sistemática, que conforme Cassia *et al.* (2020), é uma revisão da literatura separada em duas etapas, a primeira é a fase bibliométrica, que tem por característica analisar quantitativamente o assunto pesquisado, e a segunda etapa é uma análise qualitativa do conteúdo da literatura, para a identificação de lacunas de pesquisa conforme é apresentado por Oliveira Neto *et al.* (2018), isto é, questões ainda em aberto na literatura pesquisada. Esta revisão possibilitou a sustentação desta pesquisa.

2.1.1 Revisão Bibliométrica e Sistemática

A revisão bibliométrica e sistemática foi elaborada usando o método PRISMA 2020 e como critério de inclusão e exclusão de artigos com base em Liao *et al.* (2017). Seguindo o critério e busca por responde à questão de pesquisa “Quais são as relações entre as TDI4.0 e a GCSS?”, os termos “Tecnologias I4.0” e “GCSS” foram selecionados na língua inglesa.

Para fazer a busca por artigos, foram escolhidas as bases Scopus e Web of Science, pois conforme é disposto no *Scopus Content Coverage Guide* (2021), é uma base de publicações científicas que aglomera resultados de outras bases como (IEEE, Elsevier, Springer, Taylor & Francis, Emerald Insights, entre outras), por consequência, obter resultados na base Scopus, é varrer todas as bases que estão associadas e a Web of Science funciona de forma similar (WOS, 2021).

Além dos termos selecionados da questão de pesquisa, outras palavras-chave foram escolhidas tendo como referência os trabalhos de Rüßmann *et al.* (2015) e De Oliveira Neto,

Da Conceição Silva e Filho (2022). O Quadro 1 apresenta todas as palavras-chave e seus conectivos.

Quadro 1 – Relação de Palavras-chave

Palavras-chave	Bases	Filtros utilizados na busca
(“Sustainable Supply Chain Management” OR “SSCM” OR “Sustainability Supply Chain Management” OR “Sustain* Supply Chain Management”) AND (“Industry 4.0 Technology” OR “Industry 4.0 Technologies” OR “Cloud Computing” OR “Big Data” OR “Augmented Reality” OR “Virtual Reality” OR “Additive Manufacturing” OR “Autonomous Robots” OR “Autonomous Vehicles” OR “Cyber Physical System” OR “Cyber Security System” OR “Internet of Things” OR “IoT” OR “Digital Twins”)	Scopus Web of Science	Palavras-chave presentes no campo Título, Palavras-chave ou Resumo. Publicações do tipo Artigos

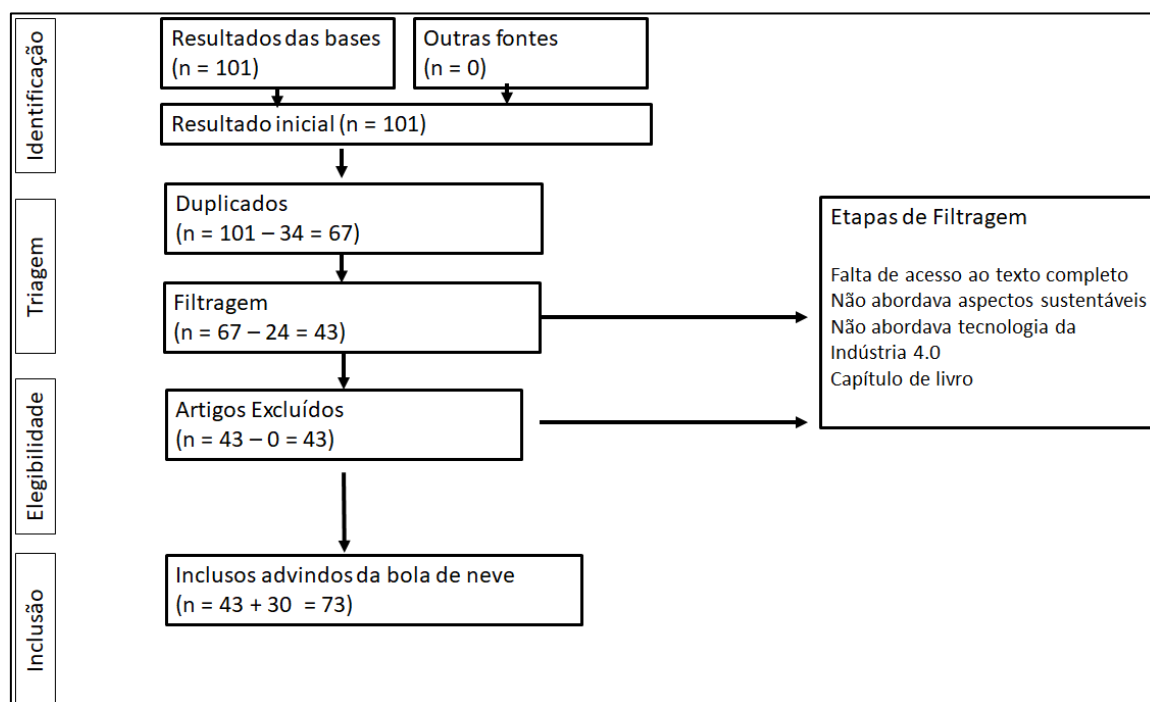
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realizar a busca dos artigos foram formuladas as combinações de palavras-chave disposta na primeira coluna do Quadro 1. As publicações foram coletadas e analisadas conforme Moher, Liberati *et al.* (2015) e Page, McKenzie *et al.* (2020), que explanam sobre o processo para a aplicação do método de pesquisa *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA).

Inicialmente a pesquisa resultou em 101 artigos conforme a Figura 1. Dos 101 artigos identificados na base de dados da Scopus e Web of Science, ao serem analisados, 34 eram

duplicados, devido a cognata SSCM (*Sustainable Supply Chain Management*), houve um retorno de 7 artigos que não abordavam sustentabilidade ou as tecnologias da Indústria 4.0. Para 14 artigos não foi possível ter acesso ao conteúdo na íntegra e 3 pesquisas representavam livros referentes ao assunto pesquisado.

Figura 1 – Etapas de seleção de artigos



Fonte: Adaptado de (MOHER, LIBERATI, *et al.*, 2009)

Depois da triagem foi desenvolvido uma análise de conteúdo, que para Bryman (2003), esta etapa é preponderante por definir e refinar os constructos teóricos e sedimentar as estruturas do trabalho. Possibilitando a inclusão de artigos advindos da abordagem de bola de neve conforme Thomé, Scavarda e Scavarda (2016) e Oliveira Neto *et al.* (2018), que contribuíram para análise qualitativa, ao final a revisão bibliométrica e sistemática ficou embasada em 73 artigos.

2.1.2 Suporte da Revisão Bibliométrica e Sistemática

Foi utilizado para suporte da revisão bibliométrica e sistemática o *software* Microsoft Excel. Neste aplicativo foi desenvolvido uma planilha eletrônica, com todas as informações referentes ao artigo, como por exemplo quais metodologias utilizadas, ano de publicação, palavras-chave e qual TDI4.0 abordava. Cada uma das informações extraídas e analisadas nesta planilha, resultaram nos gráficos da revisão bibliométrica, que também foram elaborados com o Excel.

2.2 MODELO CONCEITUAL

Um modelo conceitual é uma representação visual ou diagramática de conceitos e relacionamentos entre eles. É usado para descrever um sistema, processo, organização ou domínio de conhecimento de uma forma abstrata e simplificada, mostrando os conceitos envolvidos e como eles se relacionam entre si. Existem técnicas e abordagens para criar modelos conceituais, incluindo diagramas de entidade-relacionamento, diagramas de classes UML, mapas conceituais e diagramas de fluxo de dados.

Para demonstrar os resultados da Revisão Bibliométrica e Sistemática, foi utilizado o mapa conceitual, pois os mapas conceituais são ferramentas gráficas para a organização e representação do conhecimento (NOVAK e CAÑAS, 2010).

Os mapas conceituais foram desenvolvidos em 1972 por Joseph Novak (NOVAK e MUSONDA, 1991, p. 10). Os mapas incluem conceitos, geralmente dentro de círculos ou quadriláteros, e relações entre conceitos, que são indicadas por linhas que os conectam. O ideal é que mapas conceituais sejam elaborados a partir de alguma questão particular que se procura resposta, o que denominasse questão focal (NOVAK e CAÑAS, 2010), assim a questão focal desse trabalho foi a própria questão de pesquisa, ou seja, “Quais as relações entre as TDI4.0 e a GCSS?”.

Para a elaboração do mapa conceitual que esta dissertação se propõe, foram consideradas as relações que cada TDI4.0 teve com cada elemento que compõem os grupos de ganhos sociais, econômicos e ambientais, os quais quando em conjunto configuram a sustentabilidade da cadeia de suprimentos.

2.2.1 Etapas de elaboração do modelo conceitual

O mapa conceitual foi desenvolvido com o *software diagrams.net*. Essa ferramenta foi escolhida por ser online e gratuita disponível na loja da Google (2022). E todos os conceitos e relações criadas são resultantes da Revisão Bibliométrica e Sistemática.

Com a análise de conteúdo feita pela revisão sistemática foi possível detectar padrões de repetições entre termos e resultados similares sendo apresentados por diferentes autores, por exemplo as publicações que trabalharam com a IoT como foco obtiveram resultados como redução de custos, aumento da saúde e segurança do trabalho, otimização da rastreabilidade.

Após esta etapa, os termos chave foram agrupados manualmente em ganhos sociais, econômicos e ambientais, que representam o TBL da sustentabilidade. Esboçado no papel a forma hierárquica das relações entre as TDI4.0 e a GCSS.

No *software* o mapa conceitual foi elaborado com base em (NOVAK e CAÑAS, 2010), sendo criado os termos em caixas dispostas de forma hierárquica de acordo com seu conteúdo, com linhas conectando os conceitos e com cada linha sendo acompanhada de uma palavra que os conecte, a definição da palavra que faz essa conexão foi por meio da análise de conteúdo, alguns termos acompanhavam determinados resultados, por exemplo redução e custo.

Então para o exemplo da TDI4.0 dos Gêmeos Digitais, pode-se ler de cima para baixo TDI4.0, suporta a GCSS, com GD que aumenta a Qualidade de Vida, otimiza a Tomada de Decisões, reduz o Tempo de Espera, os Desperdícios e as Emissões.

2.3 ETAPAS DA VERIFICAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

Nessa seção são explicadas as etapas para a validação do mapa conceitual desde o instrumento de coleta de dados até a análise dos dados coletados.

2.3.1 Questionário

Para a verificação do mapa conceitual foi escolhido o método de questionário que segundo Marconi e Lakatos (2003, p. 201), é um instrumento de coleta de dados, contendo uma série de perguntas ordenadas que devem ser respondidas sem a presença do entrevistador. Foi desenvolvido o questionário sendo utilizado o *software Google Forms*, encaminhado via e-mail o *link* de acesso para os informantes do Quadro 2, junto com uma nota explicativa da natureza da pesquisa.

Quadro 2 – Características dos respondentes

Respondente	Qual a sua formação?	Qual o seu tempo atuando como pesquisador/profissional ?
Resp. 1	Mestrado	4 anos
Resp. 2	Doutorado	7 anos
Resp. 3	Pós-Doutorado	5 anos
Resp. 4	Pós-Doutorado	20 anos
Resp. 5	Mestrado	2 anos
Resp. 6	Bacharelado	3 anos
Resp. 7	Bacharelado	13 anos
Resp. 8	Bacharelado	13 anos
Resp. 9	Bacharelado	11 anos
Resp. 10	Bacharelado	12 anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

As perguntas criadas se classificam como perguntas de múltipla escolha, múltiplas escolhas são do tipo de estimação ou avaliação, que consistem em elencar um julgamento através de uma escala com diversos graus de intensidade para um mesmo item (MARCONI e LAKATOS, 2010). Para a elaboração das múltiplas escolhas foi usado a escala Likert (1932) de cinco pontos, onde que a extremidade de valor cinco equivale a “Concordo Totalmente” e a extremidade de valor um equivale a “Discordo Totalmente”. Os respondentes do questionário foram especialistas escolhidos com base no contato com as TDI4.0, seja como pesquisador das TDI4.0 ou por atuar profissionalmente.

2.3.2 Análise dos dados

A primeira etapa foi a de extração dos dados, o *software Google Forms*, possibilita que o entrevistador extraia os dados coletados para uma planilha eletrônica, para realizar esta análise foi utilizado o *Microsoft Excel*.

A segunda etapa foi a de organizar os dados de modo que possibilitasse a atribuição de valor nas respostas, para isso a planilha extraída originalmente foi transposta conforme a Figura 2.

Figura 2 – Exemplo das respostas obtidas

Q1	Concordo	Concordo	Discordo
Q2	Concordo	Concordo	Concordo
Q3	Concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Q4	Concordo	Concordo	Concordo
Q5	Concordo	Não estou decidido	Não estou decidido
Q6	Concordo	Não estou decidido	Concordo
Q7	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente
Q8	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente
Q9	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente
Q10	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente
Q11	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente
Q12	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente
Q13	Concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Q14	Concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Q15	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente
Q16	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente
Q17	Concordo	Não estou decidido	Discordo
Q18	Concordo	Não estou decidido	Concordo
Q19	Concordo	Não estou decidido	Concordo
Q20	Concordo	Não estou decidido	Não estou decidido
Q21	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo
Q22	Não estou decidido	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente
Q23	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente
Q24	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo
Q25	Concordo	Concordo	Concordo

Fonte: Elaborado pelo autor

Desta forma as respostas ocupam colunas e não linhas, o que facilita trabalhar com esses tipos de dados neste aplicativo. Em uma outra planilha no mesmo arquivo, foi descrito comandos na barra de fórmulas para que o aplicativo transformasse o texto no numerador desejado, sendo os comandos:

(=SE(Transposta!C5="Concordo Totalmente"; 5; SE(Transposta!C5="Concordo"; 4; SE(Transposta!C5="Não estou decidido"; 3; SE(Transposta!C5="Discordo"; 2; 1))))

O que permitiu que fosse realizado a análise estatística descritiva, que é usada para a descrição de dados por meio do uso de números ou medidas estatísticas (TWYECROSS e SHIELDS, 2004). As perguntas realizadas e as respostas na íntegra estão disponíveis no fim deste texto no ANEXO A, no Quadro 3 são apresentadas as siglas para cada pergunta, para que as análises fiquem mais coesas, as perguntas foram desenvolvidas de forma genérica no sentido de não focar em uma tecnologia ou setor específico, almejando responder a questão de pesquisa.

Quadro 3 – Siglas e perguntas

Sigla	Pergunta
-------	----------

Q1	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Conveniência para clientes/funcionários?
Q2	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Qualidade de Vida para clientes/funcionários?
Q3	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Saúde e Segurança do Trabalho?
Q4	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Satisfação do Cliente?
Q5	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Segurança da Informação?
Q6	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Transparência nos Processos?
Q7	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Qualidade dos Produtos/Serviços?
Q8	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Capacidade Produtiva?
Q9	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução de Custos Gerais?
Q10	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização na Previsão de Demanda?
Q11	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução de Estoque?
Q12	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização dos Processos Produtivos?
Q13	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização do processo de Tomada de Decisões?
Q14	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Flexibilidade da produção?
Q15	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução do Tempo de Espera?
Q16	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução do Índice de Erro?

Q17	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução da Poluição Sonora?
Q18	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução da Pegada de Carbono?
Q19	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução do Uso de Energia?
Q20	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução da Extração de Matéria Prima?
Q21	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização do Transporte Verde?
Q22	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização da Logística Reversa?
Q23	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização da Rastreabilidade?
Q24	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução do Desperdício?
Q25	Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução das Emissões?

Fonte: Elaborado pelo autor

Cada pergunta poderia obter como resultado até 5 pontos por cada respondente, de acordo com o grau de concordância (Concordo Totalmente = 5, Concordo = 4, Não estou decidido = 3, Discordo = 2, Discordo Totalmente = 1) que o respondente atribuisse a questão, foi sendo somado e no final dividido, definindo a expressão algébrica na Equação 1.

Equação 1

$$\text{Índice} = \frac{\sum \text{pontos atribuídos pelos respondentes}}{5 * n^{\circ} \text{ de respondentes}}$$

Fonte: Elaborado pelo autor

Em uma escala de 0 a 1, quanto mais próximo o índice estiver de 1, maior concordância entre a opinião dos especialistas e do encontrado na literatura.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Nesse capítulo são apresentados os conceitos, a revisão bibliográfica e os resultados obtidos conforme a pesquisa bibliométrica e sistemática.

3.1 TECNOLOGIAS DIGITAIS I4.0

O termo Indústria 4.0, é citado pela primeira vez em 2011 em Hannover na Alemanha, sendo um programa do governo para modernizar a indústria. Desde então, se tornou um tema de interesse de pesquisadores e gestores (FREDERICO *et al.*, 2019).

Sendo considerada a quarta revolução industrial, a revolução da digitalização, a Indústria 4.0 é um conjunto de tecnologias e estratégias inovadoras que viabilizam a manufatura inteligente, conectando objetos entre si, máquinas, humanos, processos e organizações em tempo real, proporcionando produção customizada, reduzindo custos e com tomada de decisões autônomas e ágeis. Assim a Indústria 4.0 um ambiente no qual todos os participantes estão interconectados e compartilham informações entre si (Schlechtendahl *et al.*, 2014).

Segundo Sharma *et al.* (2020), as TDI4.0 ajudam a melhorar os processos existentes, otimizando o fluxo de materiais, reduzindo falhas na qualidade e o tempo de espera em toda a cadeia de suprimentos.

Esse trabalho considerou as tecnologias digitais que compõem a Indústria 4.0, conforme Rüßmann *et al.* (2015), sendo *Big Data Analytics* (BDA), Robôs Autônomos, Simulação, *Cyber Physical System* (CPS), *Internet of Things* (IoT), *Blockchain* (BC), Computação em Nuvem (CN), Manufatura Aditiva (MA) e Realidade Aumentada (RA), durante o decorrer deste trabalho, outra tecnologia foi encontrada na literatura como Gêmeos Digitais sendo adicionada na pesquisa.

Os subcapítulos a seguir sintetizam o significado das tecnologias CPS, BDA, MA, BC, MA, IoT, VA, CN e RA, tecnologias que compõe a Indústria 4.0.

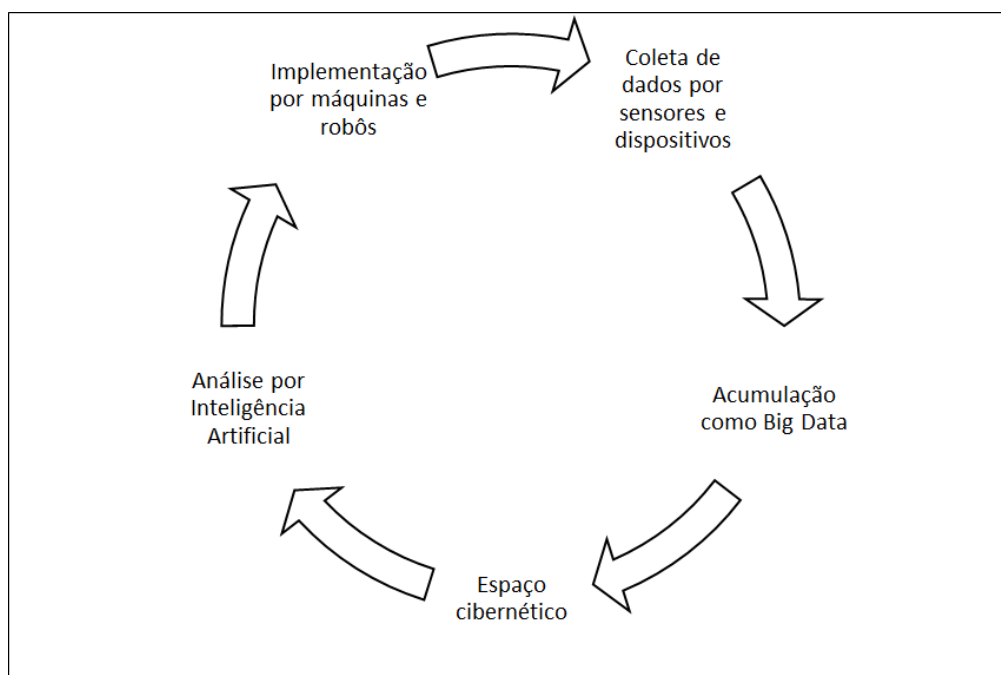
3.1.1 Cyber Physical System

O *Cyber Physical System* (CPS), é projetado para lidar com o próprio sistema no ambiente físico e, ao mesmo tempo, monitorá-lo no ambiente cibernético (MONOSTORI *et al.*, 2016), garantindo a transmissão de informações em tempo real entre todos os elementos do

ambiente físico e digital, possibilitando a sincronização, o controle, a transparência e eficiência entre os elementos do sistema, otimizando a produtividade e desempenho (OZTEMEL e GURSEV, 2018; RAJI *et al.*, 2021).

O CPS é a combinação das tecnologias digitais I4.0, quando analisado suas etapas na Figura 3, pode-se analisar que a coleta de dados é o IoT, o acúmulo de dados o BDA e a execução das tarefas pelos robôs autônomos com base nos dados que foram processados.

Figura 3 – Funcionamento do CPS



Fonte: (KEIDANREN POLICY & ACTION, 2016)

A Figura 3 representa as etapas do ciclo CPS, que se inicia pela coleta de dados com o auxílio de sensores e dispositivos, os dados coletados são acumulados e analisados por uma inteligência artificial, o resultado da análise é executado por máquinas ou robôs autônomos (ZEKHNINI *et al.*, 2020).

Logo, o CPS é o ambiente em que as TDI4.0 trabalham de forma simbiótica pelos processos de coleta dados, armazenagem, processamento e execução para a otimização dos processos produtivos em tempo real, além de proporcionar uma visualização do que está ocorrendo em cada etapa.

3.1.2 Big Data Analytics

BDA são algoritmos baseados em uma grande quantidade de dados históricos, que detectam anomalias nos dados coletados dos processos, contribuindo para a redução de falhas

e na tomada de decisões (GOVINDAN *et al.*, 2018). BDA é a combinação da Big data com o *Data Analytics* (SAGGI e JAIN, 2018).

Saggi e Jain (2018) descrevem as características do BDA, originalmente com 3 V's. Com o aprimoramento do conceito o BDA fica sendo composto por 7Vs, sendo o primeiro V de Valor que significa os dados processados geram informações e conhecimento fornecendo suporte a tomada de decisões, Volume que é a quantidade muito grande de dados, Velocidade são os dados que são criados, armazenados e processados em tempo real, Variedade são os dados que são armazenados e processados de diferentes maneiras, tipos e fontes, não sendo apenas dados textuais ou numéricos, pode-se armazenar formatos audiovisuais, batimentos cardíacos, produtos consumidos, entre outros, Variabilidade é a mudança constante dos dados, Visualização são os dados que podem ser apresentados de várias maneiras à gestão para fins de tomada de decisão e Veracidade que é o grau de confiabilidade das informações obtidas (CHALMETA e BARQUEROS-MUNOZ, 2021).

O *Data Analytics* são análises aplicadas aos dados gerados pela *Big Data* para obter previsões sobre negócios, transporte e cadeias de suprimentos. As análises aplicadas são por meio da mineração de dados, aprendizado de máquina, análise de redes sociais e visualizações de dados (MAGETO, 2021).

Portanto, o BDA é uma quantidade massiva de dados, com variabilidade, velocidade e em diferentes formatos, possibilitando a previsão dos cenários para a tomada de decisões mais sustentáveis na cadeia de suprimentos.

3.1.3 Manufatura Aditiva

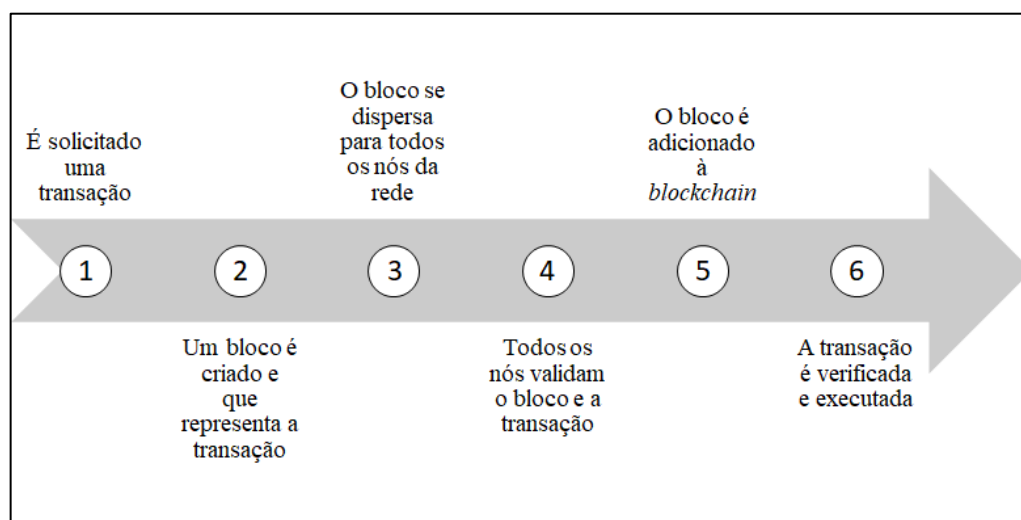
O processo de Manufatura Aditiva é a combinação de software e hardware, conforme Kellens, *et al* (2017) um protótipo do produto é elaborado em um software de Desenho Auxiliado por Computador (CAD). Esse protótipo vai para a impressora 3D, que produzirá o objeto exatamente como foi desenhado, por meio da junção de materiais camada por camada, diretamente das matérias-primas em estado de pó, líquido, folha ou filamento (NASCIMENTO *et al.* 2019).

Portanto a MA é a uma forma de manufatura na qual apenas o processo de desenho tem a participação de pessoas, reduzindo o desperdício de matéria prima e eliminando a participação de pessoas em processos com potencial de acidentes do trabalho.

3.1.4 Blockchain

O BC é um processo de comunicação que parte a mensagem em vários blocos, espalhando-os pela rede e juntando-os no receptor (NAKAMOTO, 2008). Satoshi Nakamoto, desenvolveu em 2009, este protocolo para um sistema ponto a ponto, chamado *Blockchain* (SILVEIRA, COSTA e RESENDE, 2022).

Figura 4 – Funcionamento do *Blockchain*



Fonte: Adaptado de (SILVEIRA, COSTA e RESENDE, 2022)

Como exemplo a Figura 4, supõe o processo de transações bancárias, o BC é fazer o dado inicial separar-se em dezenas de blocos cada um com uma identificação, estes se espalhariam pela rede e só se juntariam no receptor, prevenindo a corrupção ou alteração da mensagem.

Logo, o BC permite conforme Mangla *et al.* (2022), recursos como segurança dos dados, imutabilidade, transparência, contratos inteligentes e rastreabilidade.

3.1.5 Internet of Things

O termo *Internet of Things* (IoT) foi elaborado em 1999 por Kevin Ashton em uma conferência (ASHTON, 2009), (GUBBI *et al.*, 2013), (PAULA e BRITO, 2015). É uma tecnologia que permite a transformação digital do mundo conectado através da internet e comunica todas as informações relevantes em tempo real (MANAVALAN e JAYAKRISHNA, 2019, p. 29).

A IoT é uma rede constituída pela conexão de muitos objetos que estão integrados a internet com o auxílio da comunicação sem fio (GUPTA *et al.*, 2020). Segundo Oztemel e

Gursev (2018) é a conexão de dispositivos físicos como veículos, edifícios e outros itens incorporados com eletrônicos, software, sensores, atuadores e conectividade de rede que permitem que esses objetos coletem e troquem dados. Esse processo é constituído por três camadas principais conforme foi descrito por (LELOGLU, 2017), Camada de Percepção, Camada de Rede e Camada de Aplicação.

Paula e Brito (2015), abordam a arquitetura em camadas do IoT, a Camada de Percepção é a etapa de captura dos dados, sendo constituída por dispositivos como atuadores, sensores, câmeras, RFID, celulares, entre outros (DOMINGO, 2011), (LIU *et al.*, 2011), (SAID e MASUD, 2013).

O *Radio-Frequency Identification* (RFID) é um sistema de rastreamento de objetos sem fio que faz uso de ondas de rádio (RAUT *et al.*, 2020). Consiste em um leitor que captura informações do objeto que ficam armazenadas em uma etiqueta, o *middleware* atua como uma unidade de processamento, que transmite a informação até os softwares, possibilitando o rastreio do objeto (RAUT *et al.*, 2020).

A Camada de Rede tem a tarefa de transmitir os dados coletados na etapa de percepção para a etapa de aplicação (SAID e MASUD, 2013). A Camada de Aplicação, é o estágio de armazenamento, processamento e análise dos dados, extraindo informações relevantes para o contexto que sendo aplicada (PAULA e BRITO, 2015).

Portanto, a IoT interconecta os aparelhos coletando e analisando dados sem a necessidade de intervenção humana, aumentando a precisão e a confiabilidade do dado coletado.

3.1.6 Veículo Autônomos

O veículo autônomo, é um veículo que pode variar de controle manual e sistemas autônomos, ou que dão suporte a determinadas situações, como frenagem, mudança de faixa na estrada, ou podem ser veículos não tripulados, totalmente autônomos (BECHTISIS, TSOLAKIS, *et al.*, 2016).

Os veículos autônomos fornecem benefícios substanciais não apenas pela redução de emissões, mas também por serem silenciosos e possibilitarem a economia de custos (ACCIARO, GHIARA e CUSANO, 2014).

Logo, o veículo autônomo possibilita que a carga seja levada do ponto A até o B, sem a necessidade de intervenção humana, reduzindo este a exposição de potenciais acidentes.

3.1.7 Computação em Nuvem

A CN é o serviço de armazenamento de dados de forma online, que oferece conveniência operacional com aplicativos baseados na *web*, sendo desnecessário a necessidade de instalação. O sistema de armazenamento de todos os aplicativos, programas e dados em um servidor virtual é chamado de computação em nuvem (NUÑEZ, FERNÁNDEZ e LUNA, 2017). Facilita a operação, garantindo que clientes e funcionários acessem os mesmos dados ao mesmo tempo (OZTEMEL e GURSEV, 2018).

A CN, possibilita que os funcionários da empresa não estejam no mesmo local físico, mas ainda trabalhando em equipe, pois como todos os dados estão dispostos na internet disponibiliza que a realização de serviços aconteça de forma remota, reduzindo o deslocamento dos funcionários de casa até a empresa, reduzindo o estresse que o transporte causa e reduzindo a emissão CO₂, pois deixaria de emitir os gases produzidos pelos meios de transporte.

Portanto, a CN refere-se a aplicações de softwares em diferentes tipos de dispositivos que estão conectados à rede de internet e que não dependem de instalação, proporcionando flexibilidade e agilidade para com os processos.

3.1.8 Realidade Aumentada

A RA, por meio de dispositivo semelhante a óculos, mostra ao usuário em adição, sobreposição de informações ou outros elementos visuais diretamente no campo de visão, enquanto ainda permite que o usuário perceba a realidade (BERKEMEIER *et al.*, 2018).

Segundo Liberati (2014), a RA surge por volta de 1966 quando Ivan Sutherland cria o primeiro visor montado na cabeça (*head-mounted display HMD*). É a tecnologia que coloca dados digitais sobre camadas no mundo real, na forma de conteúdo (REJEB *et al.*, 2021). Enriquecendo os sentidos e as habilidades humanas (REJEB *et al.*, 2020).

Logo, a RA possibilita ao usuário maior comodidade, agilizando tarefas manuais, aumentando a eficiência.

3.1.9 Gêmeos Digitais

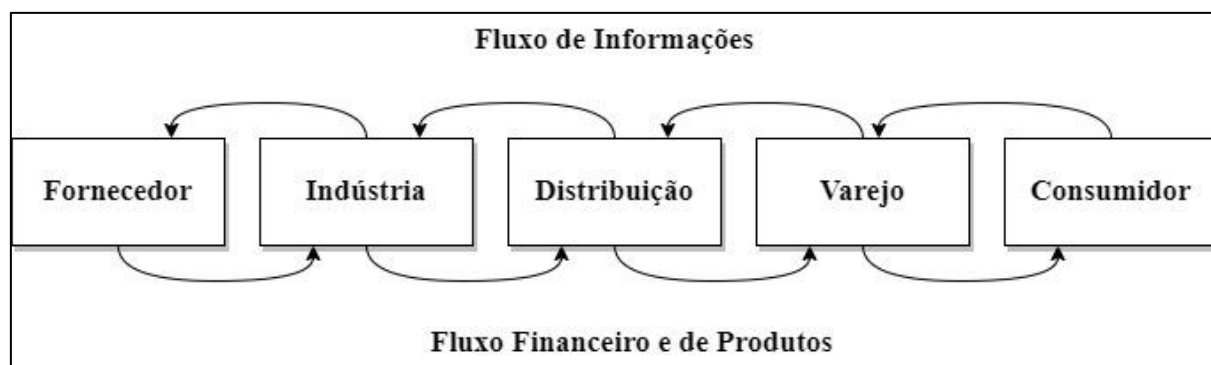
Foi proposto pela primeira vez por Grieves em 2003 (GRIEVES, 2014), mas só com o desenvolvimento de hardware e tecnologias da informação, que a realização do gêmeo digital se tornou viável. Os gêmeos digitais podem realizar a integração do espaço físico e do espaço virtual (JIA, WANG e ZHANG, 2022).

O GD possibilita a fabricação inteligente, ou seja, ter a visão completa do processo de fabricação em tempo real, proporcionando a capacidade de realizar ajustes na produção de acordo com as variações de demanda, reduzindo custos, desperdícios e otimizando o tempo de produção.

3.2 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS SUSTENTÁVEL

Gestão da Cadeia de Suprimentos envolve o planejamento e gestão das atividades envolvidas em suprimentos e logística, além da cooperação entre as empresas parceiras da cadeia de suprimentos (NOVAES, 2014). Por exemplo, o processo de uma montadora de veículos automotores, não fabrica todos os componentes que compõem o produto, esta recebe pacotes como sistema de freio, motor, direção etc. Quem produz esses componentes são seus parceiros da cadeia de suprimentos, então se precisa de uma variação no veículo produzido, devido a uma exigência do cliente, essa informação é repassada para os elos da cadeia e começam a trabalhar com o novo modelo de peças (VANALLE e SANTOS, 2013).

Figura 5 – Representação esquemática da Cadeia de Suprimentos



Fonte: Adaptado de Novaes (2014)

Conforme a Figura 5, a cadeia de suprimentos é o fluxo de financeiro e de produtos partindo dos fornecedores até o consumidor e um fluxo de informações no caminho contrário, ou seja, dos consumidores até o fornecedor. As flechas superiores representam o fluxo de informações, que parte do consumidor, suas preferências e exigências ditam os processos

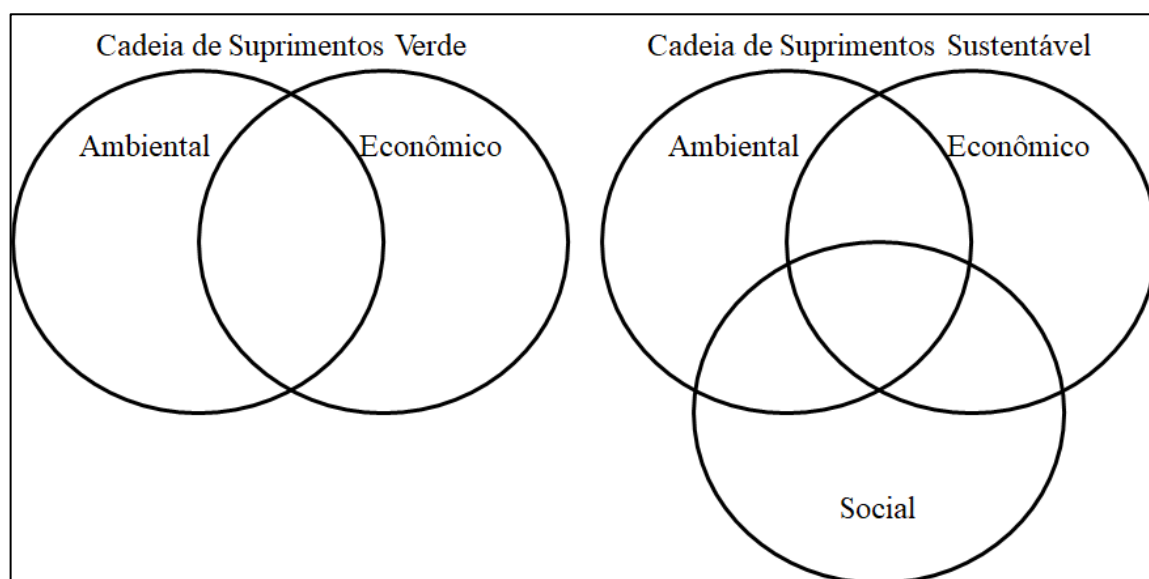
produtivos da cadeia de suprimentos. As flechas inferiores ilustram o fluxo financeiro, conforme o produto avança na cadeia seu valor agregado aumenta.

Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável (GCSS) segundo Seuring e Müller (2008, p. 1700), é a gestão de materiais, informações e fluxos de capital, bem como cooperação entre as empresas ao longo da cadeia de suprimentos, tendo metas de todas três dimensões do desenvolvimento sustentável.

Foram encontrados na literatura trabalhos como o de Umar *et al.* (2021), que apresentam questões relacionadas a tópicos de gestão da cadeia de suprimentos verde, mas que também foram definidas como cadeias de suprimentos sustentáveis (JAYARAMAN, KLASSEN e LINTON, 2007), (LINTON, KLASSEN e JAYARAMAN, 2007), (SEURING e MÜLLER, 2008), (SARKIS, 2012).

A diferença entre a Cadeia de Suprimentos Verde e a Cadeia de Suprimentos Sustentável, é que a cadeia de suprimentos verde proporciona ganhos ambientais e econômicos (VANALLE, GANGA, *et al.*, 2017). Na cadeia de suprimentos sustentável ganhos sociais são incorporados conforme a Figura 6, quando reunido com os outros dois elementos é denominado de *Triple Bottom Line* (TBL) (CARTER e ROGERS, 2008), (SEURING e MÜLLER, 2008) e (SARKIS, 2012).

Figura 6 – Diferença entre Cadeia de Suprimentos VERDE e SUSTENTÁVEL



Fonte: Adaptado de Vanalle *et al.* (2017)

O *Triple Bottom Line* (TBL) é um termo que surgiu para juntar e referenciar os objetivos da sustentabilidade, onde os aspectos sociais, econômicos e ecológicos são integrados e

avaliados em toda a GCSS, para uma ação ser considerada sustentável precisa estar atingindo de forma simultânea no tripé da sustentabilidade (ELKINGTON e ROWLANDS, 1999), (MARTÍN-GÓMEZ, AGUAYO-GONZÁLEZ e LUQUE, 2018) e (AHI e SERCY, 2014).

Portanto, a Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável tem como objetivo atingir de forma simultânea o TBL, para que se caracterize como sustentável.

3.2.1 Ganhos Econômicos

Os ganhos econômicos estão associados a redução de custos, de desperdícios, do tempo de espera e a otimização dos processos produtivos, pois assim permite condições de *Win-Win* entre todos os parceiros da GCSS (MANI, GUNASEKARAN e DELGADO, 2018).

Foi estudado por Fallahpour *et al.* (2021), a relação entre os ganhos econômicos e os critérios para seleção de fornecedores sustentáveis, foram considerados os índices de materiais fornecidos rejeitados pelo controle de qualidade, o preço dos materiais considerando a qualidade dos materiais e demais serviços prestados pelos fornecedores, taxa de desconto dada pelos fornecedores, nível de serviço prestado após a entrega dos materiais, a capacidade dos funcionários do fornecedor em relação as tecnologias da indústria 4.0 e a utilização destas para a produção. Em suma, os ganhos econômicos fazem parte de ações sustentáveis, pois conforme Elkington e Rowlands (1999), o desenvolvimento sustentável contribui para a prosperidade da economia.

3.2.2 Ganhos Ambientais

Os ganhos ambientais representam a busca pela preservação do meio ambiente, reduzindo a extração dos recursos naturais, junto com a redução da poluição e a degradação ambiental (MANI, GUNASEKARAN e DELGADO, 2018).

Foi estudado por Fallahpour, Wong *et al.* (2021), a relação entre os ganhos ambientais e os critérios para seleção de fornecedores sustentáveis, foram considerados os fornecedores que usam e produzem materiais ecologicamente corretos, evitam materiais não biodegradáveis, colaboram ambientalmente com outras empresas, tem controle de quantidade e redução de emissões de gases de efeito estufa, controle de quantidade e tratamento de águas residuais, gestão adequada do armazém para reduzir o consumo de energia e o impacto ambiental, além de avaliar, monitorar e controlar seu desempenho ambiental. Portanto, para uma ação ser

considerada sustentável, precisa que reduza o impacto da degradação do meio ambiente (ELKINGTON e ROWLANDS, 1999).

3.2.3 Ganhos Sociais

Os ganhos sociais constituem em gerar renda sem perder o foco na redução das desigualdades sociais, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da sociedade e da satisfação dos trabalhadores (MANI, GUNASEKARAN e DELGADO, 2018).

Foi estudado por Fallahpour, Wong *et al.* (2021), a relação entre os ganhos sociais e os critérios para seleção de fornecedores sustentáveis, foram se os fornecedores garantem que seus funcionários estejam protegidos por seguro de saúde, fornecedores que possuem os contratos de trabalho de seus funcionários regularizados e possuem a cultura organizacional propícia. Portanto, para uma ação ser considerada sustentável, precisa que reduza o impacto negativo social na sociedade (ELKINGTON e ROWLANDS, 1999).

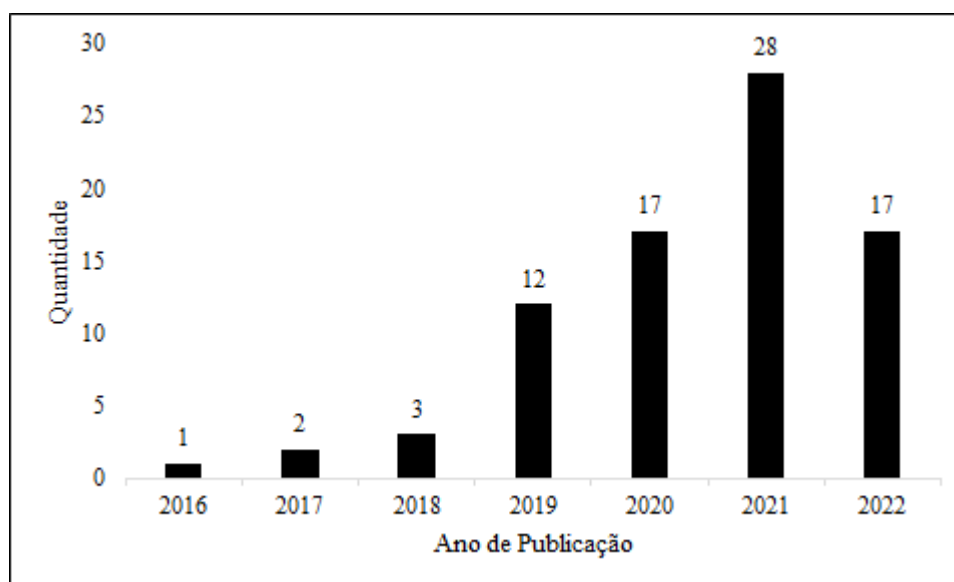
3.3 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E GCSS

Para responder à questão de pesquisa é necessário ilustrar a relevância do assunto e a isso a pesquisa bibliométrica conforme Oliveira Neto *et al.*, (2018) responde perguntas básicas, como a produção científica por ano, quais países estão estudando, quais autores tem mais publicações, quais metodologias estão sendo aplicadas, quais tecnologias estão sendo mais estudadas etc.

3.3.1 Evolução das publicações

Dentro da literatura pesquisada os estudos sobre as Tecnologias Digitais I4.0 em relação a sustentabilidade na cadeia de suprimentos iniciaram em 2016 e vem aumentando o número de publicações por ano conforme é disposto na Figura 7.

Figura 7 – Publicações por ano



Fonte: Elaborado pelo autor

O número menor de publicações, na Figura 7, ocorre devido ao fato que a revisão bibliométrica foi elaborada de forma incompleta durante o período de 2022.

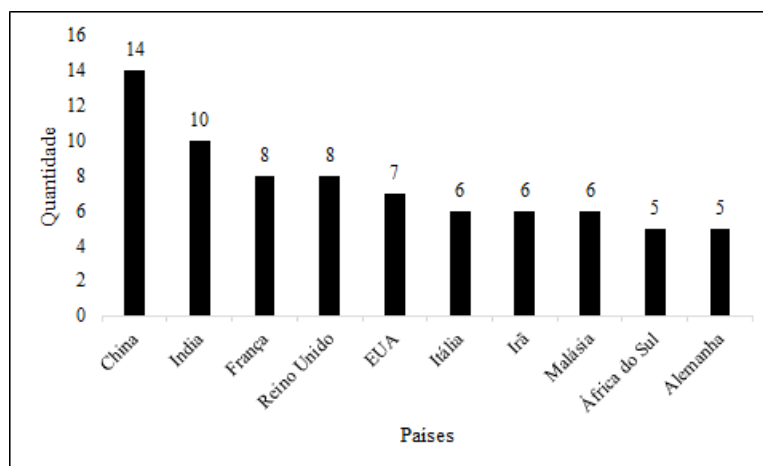
3.3.2 Relação de palavras-chave

Os termos Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável e Indústria 4.0, são dois temas que em seu cerne estão contidas estratégias, tecnologias, mudanças de cultura, gestão, entre outros. Na Figura 8 é apresentada uma nuvem de palavras na qual cada termo fica maior e com maior destaque de acordo com o seu peso, isto é, quanto mais vezes mencionado.

3.3.3 Publicações por países

Em relação a produção científica por países a Figura 9 elenca os dez com mais publicações, pode-se identificar que cinco desses países são a China, Irã, Índia, Malásia e África do Sul que são considerados economias emergentes, cinco são países desenvolvidos, ou seja, apresentam elevado desenvolvimento socioeconômico sendo esses França, Reino Unido, EUA, Itália e Alemanha.

Figura 9 – Os dez países com mais publicações



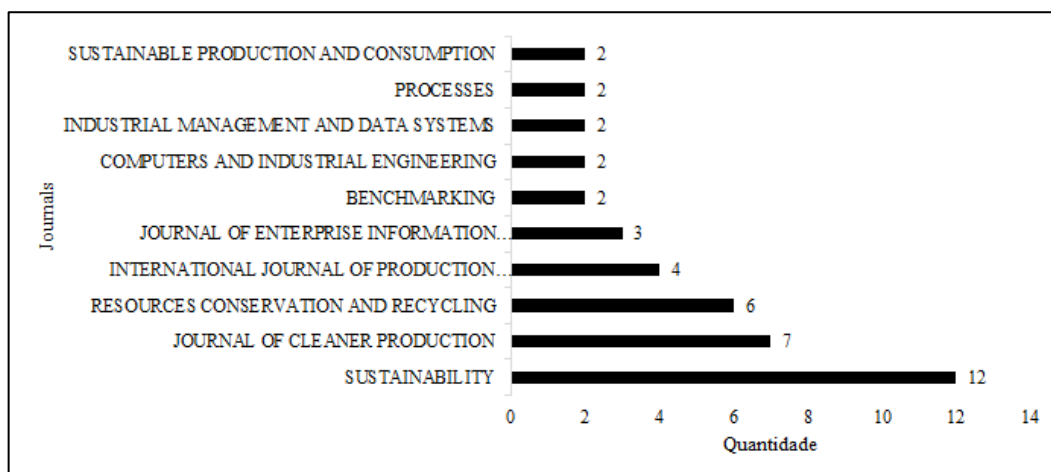
Fonte: Elaborado pelo autor

Dentre esses dez países, pode-se notar a ausência de países sul-americanos, o melhor colocado é o Brasil com 3 publicações. Esse tipo de dado ajuda em futuras pesquisas pois fornece possíveis potenciais colaborações de pesquisa.

3.3.4 Publicações por periódicos

Na Figura 10 é disposto as revistas com maior fator de impacto no tema, os três primeiros lugares com mais publicações são *Sustainability*, *Journal of Cleaner Production* e *Resource Conservation and Recycling*.

Figura 10 – As dez revistas com mais publicações



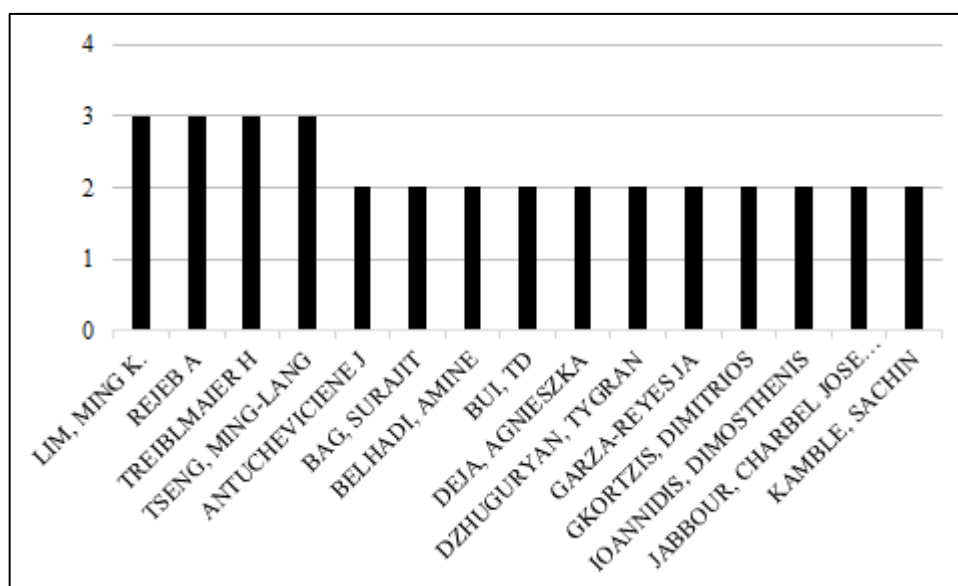
Fonte: Elaborado pelo autor

Para Bradford (1970), a quantidade de periódicos tende a crescer linearmente devido a artigos com temáticas desejadas. Ou seja, os *Journals* com maior interesse em determinado assunto, terão mais publicações, servindo de guia para novas buscas de artigos ou para publicações na área.

3.3.5 Publicações por autor

A Figura 11 traz a relação dos autores com maior fator de impacto, isto é, autores com mais publicações a respeito do assunto, os quatro com mais publicações são Lim, Rejeb, Treiblmaier e Tseng, com três publicações cada um.

Figura 11 – Os quinze autores com mais publicações



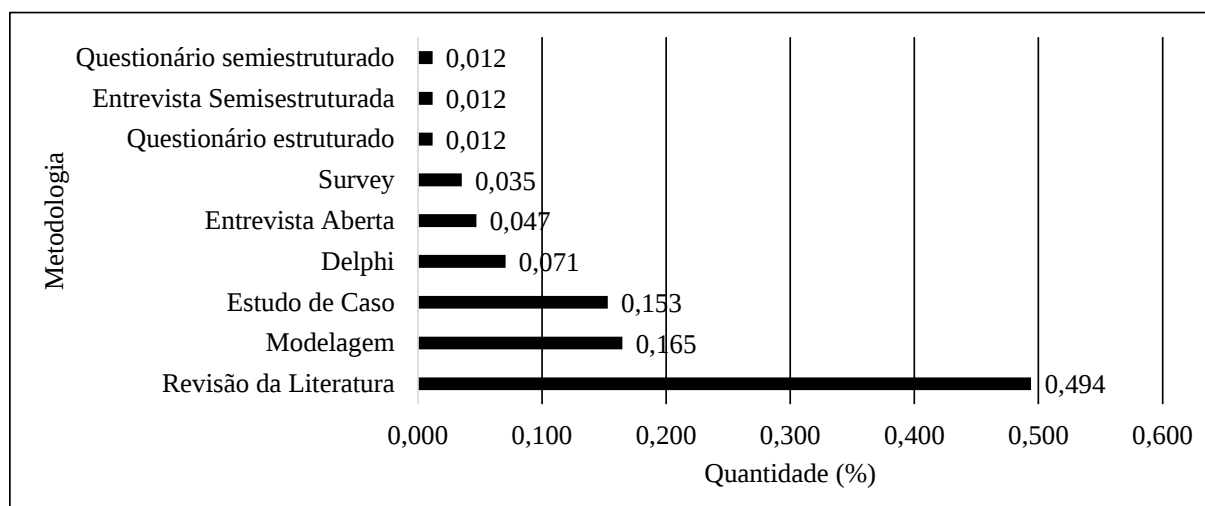
Fonte: Elaborado pelo autor

Saber quais autores já publicaram sobre um determinado assunto pode fornecer informações valiosas para futuras pesquisas, ajudando a identificar fontes confiáveis, tendências e debates, lacunas de pesquisa e a direcionar as pesquisas de forma eficaz.

3.3.6 Metodologias utilizadas

Foi constatado que a abordagem qualitativa possui 67% das publicações no tema, enquanto a abordagem quantitativa representa 33% das publicações. A Figura 12 ilustra a relação das metodologias utilizadas, pode-se observar que a revisão da literatura está presente em 49,41% das publicações, na sequência a modelagem com 16,47% e o estudo de caso com 15,29%.

Figura 12 – Metodologia utilizada



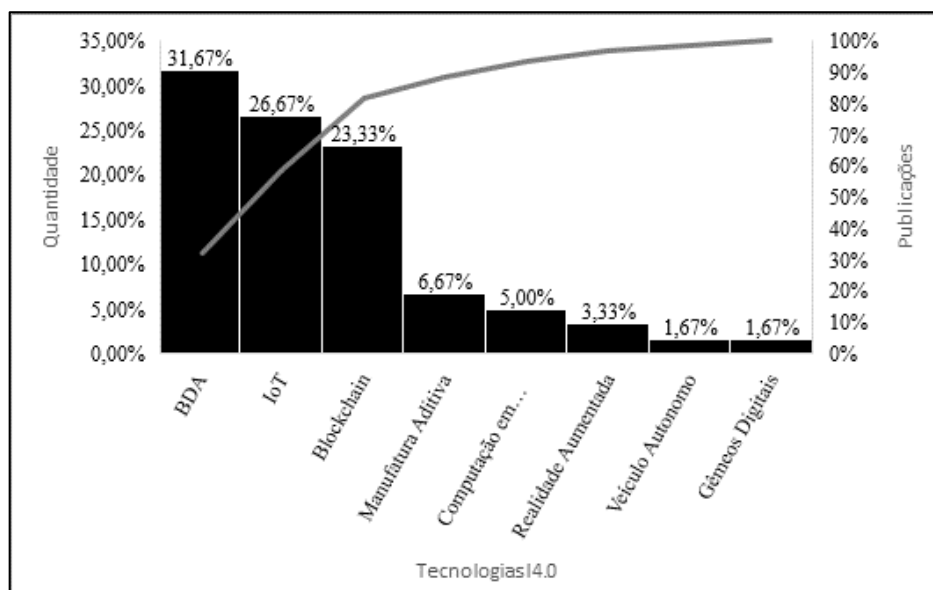
Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se analisar que os métodos menos utilizados pelos pesquisadores são o de questionário e entrevistas, se correlacionado as publicações por ano, consegue-se deduzir que devido a combinação destes assuntos ter iniciado em 2016, ainda há poucos praticantes o que pode dar suporte para a baixa utilização destes métodos de pesquisa.

3.3.7 Relação das publicações e TDI4.0 abordadas

A Figura 13 é um gráfico de Pareto que conforme Santos, Pozzetti *et al.* (2020), permite uma melhor visualização dos dados, nesta análise relaciona as tecnologias encontradas na literatura, pode-se observar que a combinação BDA, IoT e Blockchain possuem volume maior em relação a todas as outras, combinadas representam cerca de 82% das publicações, denotando que este conjunto de tecnologias vem sendo mais abordados do que os outros restantes.

Figura 13 – Tecnologias Digitais mais pesquisadas



Fonte: Elaborado pelo autor

Tecnologias Digitais como Veículo Autônomo e Gêmeos Digitais, tiveram um artigo de cada. A Computação em Nuvem só foi encontrada em combinações com outras tecnologias, não foi encontrado nenhum artigo que a estude de forma isolada em relação a GCSS.

Em suma, o tema vem ganhando atenção visto o aumento das publicações e concentrado nos países desenvolvidos. Pelas palavras-chave pode-se deduzir que temas paralelos surgem como a economia circular, o conceito de ágil entre outros, e pelas metodologias mais utilizadas, nota-se uma escassez de métodos quantitativos.

3.3.8 Revisão sistemática: As TDI4.0 na GCSS

Nessa seção, são apresentados os conteúdos dos artigos que abordaram as TDI4.0 na GCSS, sem ter uma das tecnologias como foco de estudo.

Para alcançar a GCSS a Indústria 4.0 é considerada por acadêmicos e praticantes um requisito importante (Koothongsumrit, *et al.*, 2020). É uma relação em que as TDI4.0 dão suporte para a GCSS, pois as cadeias de suprimentos que estão dentro da Indústria 4.0, tem potencial maior para a redução da emissão de CO₂ e do tempo de espera (BORTOLINI *et al.*, 2022). E as tecnologias digitais possuem potencial para dar suporte as estratégias que visam a redução, recuperação, reutilização, reciclagem de materiais e energia (De Oliveira Neto, Da Conceição Silva e Filho, 2020). Impactando tanto as práticas enxutas, quanto as práticas ágeis (RAJI *et al.*, 2021).

Os obstáculos que as organizações enfrentam para atingir o tripé da sustentabilidade estão relacionados a falta de expertise na implementação, falta de engajamento, falta de recursos internos, aumento dos custos iniciais, falta regulamentações e estrutura legal (KUNKEL *et al.*, 2022). Nos critérios de seleção de fornecedores das cadeias de suprimentos sustentáveis são analisados fatores como o processo de reciclagem, manufatura verde, saúde e segurança dos trabalhadores, qualidade da entrega e serviços (PISHDAR *et al.*, 2021). Os critérios de seleção com maior peso para (LI, FANG, e SONG, 2019) são o aumento da customização da produção, desenho de produtos verdes e ações filantrópicas com a comunidade.

Em relação as práticas como a logística reversa, a redução do desperdício e o aumento contínuo da qualidade, a missão da cadeia de suprimentos torna-se antagônica, pois precisam desenvolver produtos verdes/sustentáveis, mas mantendo o custo baixo, é nesse contexto que a TDI4.0 tem o potencial para dar suporte ao desenvolvimento sustentável (CENTOBELLI *et al.*, 2021), fornecendo suporte para as organizações melhorarem suas performances sustentáveis e manter o desejo de seus clientes (BELHADI *et al.*, 2021).

As TDI4.0 impactam os processos de produção de produtos, processos de compras, logística, gerenciamento de estoque e vendas (FATORACHIAN e KAZEMI, 2020), otimizam o uso de energia e de recursos, possibilitando a implementação de materiais ecológicos e aumento da segurança das entregas (PETER e MBOHWA, 2018). Implicam na otimização de toda a cadeia de suprimentos tornando a produção customizável, contribuindo para a mensuração de indicadores sustentáveis (YADAV *et al.*, 2020) com compras verdes,

manufatura verde e design ecológico (UMAR *et al.*, 2021). Possibilitam a redução das emissões de CO₂, redução de barulho, otimizam a conservação de energia, água, materiais e solo (ONU e MBOHWA, 2019). Com o suporte que proporcionam é possível criar modelos de negócios e novas formas de trabalho, colocando as pessoas em maior segurança e qualidade de vida e otimizando processos de manufatura (HONG *et al.*, 2021).

Cada TDI4.0 tem um impacto na cadeia de suprimentos (ZEKHNINI *et al.*, 2020). O BDA e a IoT são consideradas como componentes primordiais para alcançar a GCSS (BUI *et al.*, 2020). A IoT contribui para aumentar a eficiência operacional dos armazéns por reduzir processos desnecessários e aumentando a eficiência da gestão. O BDA tem potencial para reduzir o tempo de entrega, reduz o custo de armazenamento pelas projeções de demanda e aumenta a capacidade competitiva (TAVANA *et al.*, 2022).

O *Blockchain* é uma das TDI4.0 que mais vem sendo estudada entre os pesquisadores (SU, ZHANG e WU, 2021), pois aumenta a segurança da informação das cadeias de suprimentos sustentáveis (PYUN e RHA *et al.*, 2021), reduz os desperdícios, as emissões, impactos sociais e custos (MASTOS *et al.*, 2021).

A Manufatura Aditiva contribui para redução de estoque, flexibilização da produção e redução dos custos (STANK *et al.*, 2019) e a Realidade Aumentada otimiza a eficiência dos processos (ZEKHNINI *et al.*, 2020).

O CPS contribui para a integração horizontal e vertical das organizações (BAG *et al.*, 2018). Além de possibilitar para a GCSS meios de mensurar e acompanhar a performance no TBL, dando suporte para a tomada de decisões (MARTÍN-GÓMEZ, AGUAYO-GONZÁLEZ e LUQUE, 2018). Quando combinadas as TDI4.0 aumentam a capacidade produtiva, reduzindo o índice de erros, gerando novos modelos de negócios, causando a redução de desperdícios e da emissão de CO₂ (IVASCU, 2020). Permitindo a customização da produção, reduzindo as condições de trabalho insalubres e perigosas, possibilitando o compartilhamento de informação e a redução do desperdício (TSAI *et al.*, 2021).

Portanto, cada TDI4.0 impacta dentro de suas características um ganho do TBL da GCSS e é uma relação em que ambos os conceitos ganham, pois conforme as práticas da GCSS são atingidas, a organização de forma simultânea atingirá os requisitos para ser considerada Indústria 4.0. Na sequência são apresentados os artigos que tiveram como foco tecnologias específicas.

3.3.9 Revisão sistemática: IoT na GCSS

O papel da IoT na GCSS é melhorar a visibilidade da cadeia, aumentar a eficiência dos processos e a qualidade dos produtos, reduzir o tempo de espera, o desperdício e os custos (BEN-DAYA, HASSINI e BAHROUN, 2017). E facilitar a comunicação entre os parceiros da cadeia de suprimentos, aumentando a precisão e reduz o tempo da coleta de informações (REJEB *et al.*, 2020).

A implementação da IoT, monitora toda a GCSS, garantindo o cumprimento de práticas seguras e saudáveis, reduzindo o desperdício de energia e recursos não-renováveis (MASTOS *et al.*, 2020). Promove a logística e transportes verdes (ESMAEILIAN *et al.*, 2020). Melhora a transparência da informação, aumenta os padrões industriais de privacidade e segurança, aumenta a quantidade de dados coletados e reforça a integração do sistema de informação de gestão (CUI *et al.*, 2020). E possibilita a redução do custo, principalmente no custo de transporte (PRAJAPATI *et al.*, 2022).

Os obstáculos para a implementação da IoT são a falta de confiança e aceitação do usuário, a necessidade de um padrão aberto, a falta de estratégias e planejamento (YANG *et al.*, 2021). Em um estudo realizado sobre a aplicação da IoT na saúde, constatou a otimização do monitoramento do estado físico da pessoa (MANAYALAN e JAYAKISHNA, 2019).

Logo, o papel da IoT é facilitar e agilizar a coleta de dados, o que facilita a comunicação em toda a cadeia de suprimentos, possibilitando a otimização dos processos produtivos. E tendo uma precisão maior nos dados ocorre a redução dos desperdícios, desde que utilizados de forma coesa.

3.3.10 Revisão sistemática: *Blockchain* na GCSS

O papel do *Blockchain* na GCSS é de proporcionar o aumento da transparência da informação e a confiabilidade nos processos (COLE, STEVENSON e AITKEN, 2019). Aumentando a rastreabilidade dos produtos, facilitando o compartilhamento da informação, promovendo a segurança da informação (LI, CEONG e LEE, 2021) e o aumento da qualidade dos processos (SURJANDY *et al.*, 2019).

Aumentando a confiabilidade das informações o rastreio dos descartes torna-se mais eficiente (DZHUGURYAN e DEJA, 2021). Ajudando a promover o comportamento verde, aumenta a visibilidade do ciclo de vida do produto, melhorando a eficiência das operações e

dos sistemas, melhora os relatórios e monitora a performance sustentável (ESMAEILIAN, *et al*, 2020). Dando suporte a tomada de decisões (OGUNTEGBE, PAOLA e VONA, 2022).

Em suma, o *Blockchain* tem papel fundamental na rastreabilidade, confiabilidade e segurança da informação. Por essas características, proporciona ao TBL inviolabilidade de dados, podendo mensurar e analisar a performance sustentável, contribuindo para a tomada de decisões.

3.3.11 Revisão sistemática: BDA na GCSS

O BDA tem como papel organizar, armazenar e analisar uma grande quantidade de dados, sendo mais estudado e aplicado dentro da manufatura, serviços, cadeia de suprimentos e a manufatura da cadeia de suprimentos (INAMDAR *et al.*, 2020). Os resultados encontrados ilustram as relações de publicações por países, autores, palavras-chave e a evolução do tema de pesquisa (ZHANG, YU e ZHANG, 2020). Por meio da revisão sistemática da literatura estudaram a relação do BDA com a cadeia de suprimentos (CHEHBI-GAMOURA *et al.*, 2019).

Quando implementado o conceito de sustentabilidade na cadeia de suprimentos tornou-se complexo a mensuração das performances, o BDA possibilitou fazer essa mensuração, contribuindo para a rastreabilidade de ações e comportamentos antiéticos, o compartilhamento das informações torna mais visível os processos, ajudando na tomada de decisões (MAGETO, 2021). A capacidade de trabalhar com uma massiva quantidade de dados, possibilita acompanhar em tempo real indicadores de cada aspecto sustentável (ZHU *et al.*, 2022). Mensurando impactos ambientais como a poluição do ar e a emissão de CO₂, também possibilita analisar crises sociais (BADIEZADEH, SAEN e SAMAVATI, 2017). E promove a colaboração estratégica de fornecedores, otimiza a logística e a logística reversa, conserva o meio ambiente e impulsiona a segurança do trabalho, aprimora a comunicação (TSENG *et al.*, 2019).

A capacidade de gerenciamento de BDA contribui para o desenvolvimento de produtos verdes (BAG *et al.*, 2019). Proporciona a redução da poluição sonora contribuindo para os ganhos ambientais e sociais (ELDIEN, GAZZEH e HAMMAD, 2020).

O BDA proporciona suporte para cada um dos ganhos do tripé da sustentabilidade, para os ganhos econômicos melhora a previsão do impacto financeiro das decisões relacionadas a GCSS, otimizando a gestão de estoque e a previsão de demanda, reduzindo custos (CHALMETA e BARQUEROS-MUNOZ, 2021), aumentando os níveis de produtividade,

otimizando a distribuição e logística, melhorando a coordenação e colaboração entre os níveis da cadeia de suprimentos (JABBOUR *et al.*, 2020).

Em relação aos ganhos ambientais o BDA concede o conhecimento dos impactos ambientais dos parceiros, faz o monitoramento de indicadores ambientais como emissões de gases e poluentes atmosféricos, impulsiona a economia de recursos e energia, permitindo avaliações precisas do impacto ambiental (JABBOUR *et al.*, 2020). Por proporcionar a medição da pegada de carbono possibilita a tomada de decisões que possam reduzir o consumo de combustível (CHALMETA e BARQUEROS-MUNOZ, 2021).

Para os ganhos sociais o BDA oferece a transparência e o compartilhamento de informações, incentiva comportamentos éticos entre os parceiros da cadeia de suprimentos, monitora e rastreia problemas sociais em cadeias de suprimentos e permite a avaliação do histórico de conformidade de fornecedores (JABBOUR *et al.*, 2020). E contabiliza indicadores de pesquisa de satisfação dos clientes, empregados e o sentimento das mídias sociais (CHALMETA e BARQUEROS-MUNOZ, 2021).

Portando, o BDA contribui para o TBL analisando uma quantidade massiva de dados, possibilitando mais informações para a tomada de decisões e predizendo cenários para as possíveis consequências de cada decisão tomada.

3.3.12 Revisão sistemática: Manufatura Aditiva na GCSS

A manufatura aditiva oferece vantagens a GCSS por tornar as tomadas de decisões sobre o produto menos arriscadas devido a possibilidade de fabricação sob demanda com custos mínimos (NASCIMENTO *et al.*, 2019). Por reduzir a quantidade de material utilizado para a confecção dos produtos, diminui o número de viagens para aquisição de matéria prima reduzindo a emissão de CO₂ (ISASI-SANCHEZ *et al.*, 2020). Sendo a manufatura ideal para pequenos volumes de produção (HOHN e DURACH, 2021).

Portanto, proporciona ganhos relacionados a redução do uso de matéria prima, custo de produção, reduzir a quantidade de matéria prima, reduzindo as emissões de CO₂.

3.3.13 Revisão sistemática: Veículo Autônomo na GCSS

Bechtsis *et al.* (2016), por meio de um estudo taxonômico da literatura, analisaram a aplicação dos veículos autônomos na GCSS. Os resultados encontrados demonstram que os

veículos autônomos contribuem para diminuir a emissão de gases de efeitos estufa, reduzir o consumo de energia, reduzir os custos trabalhistas, aumentar a produtividade, aumentar a segurança das pessoas, pois tanto tira os humanos de ambientes perigosos, como reduz o fator humano dos acidentes.

Portanto, em relação aos Veículos Autônomos foi encontrado apenas um artigo que trata desta tecnologia, o que implica na necessidade de mais estudos nessa área.

3.3.14 Revisão sistemática: Realidade Aumentada na GCSS

O papel da Realidade aumentada é facilitar o serviço das áreas de armazenamento, manufatura, vendas, planejamento e treinamento, tornando os processos mais enxutos proporcionando melhora da performance econômica e ambiental, e torna as tarefas convenientes para os trabalhadores, reduzindo os índices de erros (REJEB *et al.*, 2020).

Os resultados encontrados destacam a melhora na integração dos trabalhadores em novos processos e espaços de trabalho, otimização na resolução de problemas sem auxílio de outras pessoas dando suporte para atividades cotidianas, o que contribui para a redução de desperdício, deixando os processos mais enxutos (REJEB *et al.*, 2021).

Logo, a Realidade Aumentada contribui para o TBL, porém, é escasso o número de artigos encontrados a respeito dessa TDI4.0.

3.3.15 Revisão sistemática: Gêmeos Digitais na GCSS

Rahmanzadeh, Pishvae e Govindan (2021), por meio da combinação de modelagem matemática e estudo de caso estudaram o papel que a tecnologias de Gêmeos Digitais causa na cadeia de suprimentos aberta. Os resultados encontrados indicam que o GD facilitam a tomada de decisão, reduzem o tempo de espera, aumentam a qualidade de vida e reduzem o desperdício e as emissões de gases de efeito estufa.

Portanto, os Gêmeos Digitais dão suporte para o TBL. Porém, foi encontrado apenas um artigo que trata desta tecnologia o que indica a necessidade de mais estudos nessa área.

3.3.16 Revisão sistemática: Combinação de TDI4.0 na GCSS

Nessa seção, são apresentadas pesquisas que foram realizadas combinando as TDI4.0, porém sem atingir o estágio de CPS.

Ivanov, Dolgui e Sokolov (2018), com a revisão sistemática da literatura analisaram os prós e contras da aplicação do BDA, IoT, Manufatura Aditiva e *Blockchain* na Cadeia de Suprimentos. A combinação destas tecnologias permitiu que as cadeias de suprimentos otimizassem as previsões de demanda, aumentassem a visibilidade em toda a cadeia e possibilitou a customização da produção com maior flexibilidade no mercado, diversificando os riscos, com maior capacidade de resposta em prazos de entrega mais ágeis, com controle de estoque mais eficiente e o rastreamento dos produtos em tempo real.

Ardito *et al.* (2018), por meio da revisão sistemática, analisaram os benefícios da combinação do IoT, Computação em Nuvem e BDA na cadeia de suprimentos. Esta combinação de TDI4.0 possibilita tomada de decisões em tempo real, além de tornar mais flexível a produção e os modos de trabalhos, pois o compartilhamento de informações fica facilitado e com maior confiabilidade.

Hasanova e Romanovs (2020), por meio da revisão sistemática estudaram as melhores práticas das tecnologias IoT, BDA e *Blockchain* no gerenciamento da Digital Cadeia de Suprimentos Sustentável. Com essa combinação a coleta e gerenciamento de dados, permite otimizar os processos e reduzindo custos, mensura o desempenho sustentável como o índice de pagada de carbono, auxiliando na tomada de decisão, aumenta a transparência e a visibilidade de todos os processos.

Ebinger e Omondi (2020), por meio da revisão sistemática da literatura estudaram abordagens digitais para o aumento da transparência da GCSS. Combinando a IoT, *Blockchain*, BDA e Computação em Nuvem, possibilita a conexão entre os elementos dos processos permitindo uma massiva coleta de dados, com o *Blockchain* garantindo a segurança da informação, o BDA disponibiliza e organiza toda essa massa de dados e a Computação em Nuvem facilita o acesso para todos os membros da GCSS.

Quando combinado o *Blockchain*, com o IoT e BDA, foi possível melhorar a efetividade da ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) e a performance ambiental (ZHANG *et al.*, 2020). Com três estudos de casos combinando a IoT, *Blockchain* e BDA, para promover a rastreabilidade e a transparência na cadeia de suprimentos de alimentos (KITIPANYA-NGAM e TAN, 2019). A combinação da IoT com o *Blockchain* possibilita a interconectividade, tornando mais rápido a coleta de dados para a tomada de decisões e o suporte do *Blockchain* garante a confiabilidade destas informações (AZIZI *et al.*, 2021). Combinando o BDA e o *Blockchain* contribuem para a segurança da informação, tomada de decisões rápidas e rastreamento para o ciclo de vida do

produto (GURZAWSKA, 2019). A IoT e a Computação em Nuvem, resultam em mais eficiência, controle de qualidade, flexibilidade da organização das tarefas e redução de custos (DOBRESCU *et al.*, 2019).

Stroumpoulis e Kopanaki (2022), por meio da revisão sistemática da literatura e a criação de um modelo conceitual analisaram a relação da transformação digital na cadeia de suprimentos sustentável. Os resultados indicam que entre as tecnologias da transformação digital, o *Blockchain* é o principal para os problemas relacionados à segurança e confiabilidade da informação. A IoT permite a comunicação entre todos os parceiros da cadeia de suprimentos, compartilhando informações. O BDA quando combinado com as outras duas, tornasse uma ferramenta poderosa para a tomada de decisões e a mensuração de performance.

Pode-se concluir que nas combinações envolvendo a IoT encontra-se resultados como o aumento da agilidade na coleta de dados, compartilhamento da informação, eficiência e redução de custos. O *Blockchain* é acompanhado do aumento da confiabilidade e da segurança da informação. A Computação em Nuvem é acompanhada do termo de flexibilização, compartilhamento da informação e agilização no processo de tomada de decisões. O *Big Data Analytics* trata os dados coletados otimizando os processos de mensuração de performance e tomada de decisões. E a Manufatura Aditiva relaciona-se com customização da produção e redução de custos.

4 RESULTADOS

Nesse capítulo, são apresentados os resultados da elaboração do modelo conceitual, a ilustração por meio do mapa conceitual e a validação por questionário com especialistas. Os quadros a seguir estão sintetizadas e organizadas as publicações e suas análises de forma cronológica por ano de publicação os dados coletados pela revisão sistemática.

Quadro 4 – Análise de conteúdo das publicações de 2016 e 2017

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
(BECHTSIS <i>et al.</i>)	2016	Veículo Autônomo	Reduz o consumo de energia e a emissão de gases de efeito estufa		Reforça a segurança		Aumenta a produtividade e reduz custos trabalhistas	
(BADIEZADEH, SAEN e SAMAVATI)	2017	BDA		Permite a mensuração dos impactos ambientais		Permite a avaliação de crises sociais		
(BEN-DAYA, HASSINI e BAHROUN)	2017	IoT	Reduz o desperdício		Aumenta a satisfação do cliente		Reduz custos	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se analisar que a primeira publicação feita em 2016 no Quadro 4, teve como tecnologia digital principal de sua pesquisa o veículo autônomo, o resultado obtido indicou que tem o potencial para reduzir o consumo de energia e a emissão de gases de efeito estufa, aumentando a segurança do trabalho e reduzindo os custos. Em 2017, as tecnologias digitais estudadas foram o BDA e a IoT, o estudo dessas tecnologias apontou que permitiam a redução do desperdício, realizam a mensuração de indicadores para tomada de decisões mais sustentáveis, aumenta a satisfação do cliente e reduz os custos. Nota-se que entre esses dois anos dentro dos ganhos econômicos, a resultante de reduzir os custos foi obtida em 2016

e reforçada em 2017, com tecnologias diferentes, já nos outros ganhos do tripé da sustentabilidade as resultantes foram diferentes. Nota-se também a predominância de estudos qualitativos (6 estudos) em relação aos estudos quantitativos (2 estudos).

Quadro 5 – Análise de conteúdo das publicações de 2018

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
(ARDITO <i>et al.</i>)	2018	IoT, Computação em Nuvem e BDA			Compartilhamento da informação		Aumento do nível de serviços	
(BAG <i>et al.</i>)	2018	CPS			Transparência das informações		Integração Horizontal e Vertical	
(IVANOV, DOLGUI e SOKOLOV)	2018	BDA, IoT, Manufatura Aditiva e Blockchain			Melhores promoções de experiência do cliente		Aumenta a flexibilidade	
(MARTÍN-GÓMEZ, AGUAYO-GONZÁLEZ e LUQUE)	2018	CPS		Permite a mensuração do uso da água e uso dos materiais.		Permite a mensuração da: Satisfação do trabalhador; Nível de educação.		Redução dos custos; Aumento das vendas.
(PETER e MBOHWA)	2018	Geral	Materiais ecológicos		Aumenta a segurança das entregas			

Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar que em 2018 no Quadro 5, as tecnologias digitais IoT e BDA foram novamente objeto de estudo e outras como CN, MA, BC e CPS. Em relação aos ganhos ambientais, a resultante de permitir mensurar uso da água e uso dos materiais, reforça os resultados obtidos nos

anos anteriores, além da seletividade por materiais ecológicos. Nos ganhos sociais, as resultantes de aumento da segurança das entregas, é uma evolução em nicho dos resultados de publicações de anos anteriores, outros resultados são obtidos como a transparência da informação, melhora na experiência do cliente e a mensuração da satisfação do cliente. Os ganhos econômicos continuam reforçando que as tecnologias digitais reduzem custos, além de promoverem o aumento do nível do serviço prestado e aumento da flexibilidade da produção. Pode-se observar que há uma predominância de estudos qualitativos (10 estudos) em comparação aos estudos quantitativos (6 estudos).

Quadro 6 – Análise de conteúdo das publicações de 2019

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
(BAG <i>et al.</i>)	2019	BDA		Criação de produtos verdes		Novos modelos organizacionais		Redução das incertezas
(CHEHBI-GAMOURA <i>et al.</i>)	2019	BDA	Facilita a logística reversa				Melhora a tomada de decisões e reduz custos	
(COLE, STEVENSON e AITKEN)	2019	Blockchain			Aumenta a transparência da organização		Aumenta a confiabilidade dos processos.	
(GURZAWSKA)	2019	BDA e Blockchain	Ciclo de vida do produto		Segurança da informação		Torna mais ágil a tomada de decisão	
(LI, FANG e SONG)	2019	Geral		Produtos verdes		Ações filantrópicas		Aumento da flexibilidade
(MANAVALAN e JAYAKRISHNA)	2019	IoT	Reduz o desperdício.		Melhora da qualidade de vida.		Flexibilidade do processo	

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
							produtivo e reduz custos.	
(NASCIMENTO <i>et al.</i>)	2019	Manufatura Aditiva	Reduz o desperdício		Criação de novos modelos de negócios		Fabricação com custo mínimo	
(ONU e MBOHWA)	2019	Geral	Conservação da energia e água		Melhora a saúde pública		Otimiza a prestação de serviços	
(STANK <i>et al.</i>)	2019	Manufatura Aditiva					Flexibilização da produção	
(SURJANDY <i>et al.</i>)	2019	<i>Blockchain</i>	Rastreabilidade				Promove segurança e qualidade do processo	
(TSENG <i>et al.</i>)	2019	BDA		Conservação do meio ambiente		Segurança do trabalhador e direitos humanos		Estabilidade econômica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se observar que em 2019 no Quadro 6, as tecnologias digitais estudadas foram o BDA, BC, MA e IoT. Do tripé da sustentabilidade, os ganhos ambientais tiveram como resultado o conceito de redução de desperdício que é reforçado por publicações anteriores, além de que o significado de conservação da energia e água e conservação do meio ambiente, tem traços de evolução de publicações de anos anteriores como o das ideias de mensurar o uso da água e de recursos. Nos ganhos sociais, obteve-se resultados como o aumento da segurança da informação, qualidade de vida, segurança do trabalhador, saúde pública e transparência da organização, já a ideia de novos modelos de negócios tem relação com os novos modos ou estratégias de gerir, trabalhar etc. A redução de custos novamente é uma resultante das pesquisas nos ganhos econômicos,

junto a flexibilização da produção é reforçada pelas publicações anteriores, outros resultados surgem como a estabilidade econômica, o aumento da qualidade do processo, a otimiza da prestação de serviços, a melhora na tomada de decisões e a redução das incertezas. Pode-se notar que há uma predominância de estudos qualitativos (19 estudos) em relação aos estudos quantitativos (9 estudos).

Quadro 7 – Análise de conteúdo das publicações de 2020

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
(CUI <i>et al.</i>)	2020	IoT				Aprimora a privacidade e segurança		Melhora os padrões industriais
(BUI <i>et al.</i>)	2020	Geral						
(EBINGER e OMONDI)	2020	BDA, IoT, <i>Blockchain</i> e Computação em Nuvem			Aumenta a transparência			
(ELDIEN, GAZZEH e HAMMAD)	2020	Big data	Reduz poluição sonora		Melhora a saúde pública			
(ESMAEILIAN <i>et al.</i>)	2020	IoT	Logística verde		Novos modelos de negócios		Gerenciamento de energia	
(ESMAEILIAN <i>et al.</i>)	2020	<i>Blockchain</i>	Promove o comportamento verde				Melhora a eficiência das operações e dos sistemas.	
(FATORACHIAN e KAZEMI)	2020	Geral	Compras				Gerenciamento de estoque	
(HASANOVA e ROMANOV)	2020	IoT; BDA; <i>Blockchain</i>	Mensuração dos indicadores.		Aumenta a segurança da informação		Melhora a tomada de decisão,	

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
							reduzindo custos.	
(INAMDAR <i>et al.</i>)	2020	Geral						
(ISASI- SANCHEZ <i>et al.</i>)	2020	Manufatura Aditiva		Reduz o desperdício e a emissão CO ₂				Aumenta a lucratividade
(IVASCU)	2020	Geral	Reduz o desperdício e a emissão de CO ₂		Novos modelos de negócios		Aumenta a eficiência da produtividade	
(JABBOUR <i>et al.</i>)	2020	BDA	Monitora os indicadores sustentáveis.		Compartilhamento da informação.		Predição do impacto econômico da tomada de decisões.	
(KOOHATHONGSUM RIT <i>et al.</i>)	2020	Geral						
(MASTOS <i>et al.</i>)	2020	IoT	Reduz o consumo de energia recursos não renováveis		Faz cumprir práticas seguras e saudáveis			
(REJEB <i>et al.</i>)	2020	Realidade Aumentada	Processos enxutos, reduzindo desperdícios		Conveniência		Reduz falhas	
(REJEB <i>et al.</i>)	2020	IoT	Melhora a logística reversa		Melhora a precisão e o tempo da		Melhora a relação entre os parceiros	

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
					obtenção da informação.			
(YADAV <i>et al.</i>)	2020	Geral		Compra verde		Novos modelos de negócios		Otimização
(ZEKHNINI <i>et al.</i>)	2020	Geral					Aumenta a eficiência de gestão	
(ZHANG, YU e ZHANG)	2020	BDA					Facilita a tomada de decisões	
(ZHANG <i>et al.</i>)	2020	Blockchain, IoT e BDA	Avaliação do Ciclo de Vida					

Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar que em 2020 que é apresentado no Quadro 7, a realidade aumentada foi uma novidade entre as tecnologias digitais. Em relação ao TBL, os ganhos ambientais resultantes foram que as tecnologias digitais promovem a redução da poluição sonora, do consumo de energia, de recursos não-renováveis, a emissão de CO₂ e do desperdício, promovem comportamentos verdes como o processo de compras verdes, logística verde, logística reversa e a avaliação do ciclo de vida do produto, além de monitorar os indicadores referentes ao meio ambiente. Os resultados obtidos em relação aos ganhos sociais são a melhora da saúde pública, aumento da transparência, novos modelos de negócios, aumento da segurança da informação, saúde e segurança do trabalho, que são reincidentes das publicações anteriores. Os ganhos econômicos tiveram como resultados a redução de custos, a melhora na tomada de decisão, aumento na qualidade, otimiza os processos e da gestão e a redução de falhas. Pode-se notar que há uma predominância de estudos qualitativos (30 estudos) em relação aos estudos quantitativos (7 estudos).

Quadro 8 – Análise de conteúdo das publicações de 2021

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
(ADAMS, DONOVAN e TOPPLE)	2021	Blockchain, BDA e IoT	Aumenta a rastreabilidade		Aumenta a transparência			
(AZIZI <i>et al.</i>)	2021	IoT e Blockchain				Confiabilidade na informação		Coleta de dados para tomada de decisões
(BELHADI <i>et al.</i>)	2021	Geral		Reciclagem		Novos modelos de negócios		Tomada de decisões
(CENTOBELLI <i>et al.</i>)	2021	Geral	Reduz desperdício				Aumento contínuo da qualidade	
(CHALMETA e BARQUEROS-MUNOZ)	2021	BDA	Permite a mensuração e monitoramento em tempo real dos indicadores.		Permite a mensuração e monitoramento em tempo real dos indicadores		Permite a mensuração e monitoramento em tempo real dos indicadores	
(DEJA <i>et al.</i>)	2021	Geral	Reduz o impacto negativo do desenvolvimento industrial		Criação de novos modelos de trabalho		Reduz o tempo de espera	
(DOBRESKU <i>et al.</i>)	2021	IoT; Computação em nuvem					Competitividade	
(DZHUGURYAN e DEJA)	2021	Blockchain		Reduz descarte		Rastreabilidade		Suporte para informação

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
(HOHN e DURACH)	2021	Manufatura aditiva					Facilita a produção de pequenos volumes	
(HONG <i>et al.</i>)	2021	Geral	Reduzindo o desperdício		Novos modelos de negócios		Otimiza o processo de manufatura	
(LI, CEONG e LEE)	2021	Blockchain						Competitividade
(MAGETO)	2021	BDA	Eficiência		Visibilidade		Competitividade	
(MASTOS <i>et al.</i>)	2021	Geral		Reduz emissões		Reduz impacto social		Reduz custos
(PISHDAR <i>et al.</i>)	2021	Geral		Reciclagem		Saúde e Segurança		Aumenta a qualidade
(PYUN e RHA)	2021	Geral			Aumenta a segurança da informação			
(RAHMANZADEH, PISHVAEE e GOVINDAN)	2021	Gêmeos Digitais		Mitiga problemas ambientais		Promove qualidade de vida		Reduz o tempo de espera
(RAJI <i>et al.</i>)	2021	Geral				Visibilidade		Reduz o tempo de espera, e aumenta a flexibilidade.
(REJEB <i>et al.</i>)	2021	Realidade Aumentada	Reduz desperdícios		Conveniência		Otimiza processos	
(SU, ZHANG e WU)	2021	-			Rastreabilidade			

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
(TSAI <i>et al.</i>)	2021	CPS	Reduz o desperdício		Compartilhamento da informação		Produção customizada	
(UMAR <i>et al.</i>)	2021	Geral		Compra verde				Manufatura verde
(YANG <i>et al.</i>)	2021	IoT					Torna mais ágil	

Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se analisar que as publicações de 2021 que são apresentadas no Quadro 8, a tecnologia de gêmeos digitais é a novidade. Os ganhos ambientais resultantes foram a redução do desperdício, redução das emissões, reduz descarte, aumenta a rastreabilidade, a mensuração e monitoramento dos indicadores ações promovem ações como a da reciclagem e compras verdes. Em relação aos ganhos sociais foram identificados os novos modelos de negócios, o aumento da saúde e segurança do trabalho, segurança da informação, aumento da conveniência, rastreabilidade, visibilidade, confiabilidade na informação e transparência dos processos, a rastreabilidade, mensuração e monitoramento dos indicadores possibilitam a redução do impacto social e promovem melhor qualidade de vida. Os resultados obtidos em relação aos ganhos econômicos foram a redução de custos, do tempo de espera, aumento da qualidade e flexibilidade, com a coleta de dados e o monitoramento de indicadores para tomada de decisões otimizando os processos produtivos e tornando-os mais ágeis, possibilitando produção customizada, aumentando a competitividade. Nota-se que há uma predominância de estudos qualitativos (27 estudos) em relação aos estudos quantitativos (22 estudos).

Quadro 9 – Análise de conteúdo das publicações de 2022

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
(BORTOLINI <i>et al.</i>)	2022	Geral		Reduz emissões				Reduz o tempo de espera
(DE OLIVEIRA NETO, DA	2022	Geral	Reciclagem				Redução de custos	

Autor	Ano	Tecnologia	Ambiental		Social		Econômico	
			Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
CONCEIÇÃO SILVA e FILHO)								
(KUNKEL <i>et al.</i>)	2022	Geral					Otimiza processos	
(OGUNTEGBE, PAOLA e VONA)	2022	Blockchain					Confiabilidade da informação	
(PRAJAPATI <i>et al.</i>)	2022	IoT					Redução de custos	
(STROUMPOULIS e KOPANAKI, 2022)	2022	IoT, <i>Blockchain</i> e BDA	Permite a mensuração de performance		Aumenta a visibilidade		Facilita a tomada de decisões	
(TAVANA <i>et al.</i>)	2022	BDA					Redução de custos	
(ZHU <i>et al.</i>)	2022	BDA		Indicadores		Indicadores		Indicadores

Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação as publicações de 2022 apresentadas no Quadro 9, os ganhos ambientais resultantes das pesquisas foram a redução de emissões, reciclagem e a mensuração de indicadores. Nos ganhos sociais, o aumento da visibilidade e o acompanhamento de indicadores. Os ganhos econômicos identificados foram a redução do tempo de espera, redução de custos, otimização dos processos produtivos e o suporte para tomada de decisão. Nota-se que há uma predominância de estudos qualitativos (9 estudos) em relação aos estudos quantitativos (5 estudos).

Logo, pode-se concluir que com o passar dos anos as publicações reforçaram alguns conceitos que foram se repetindo, ganhando embasamento teórico como redução de custos, redução de emissões, aumento da saúde e segurança do trabalho. Porém, BDA, IoT e BC são tecnologias mais estudadas do que outras, o que possibilita que ocorra mais reincidências.

4.1 MAPA CONCEITUAL

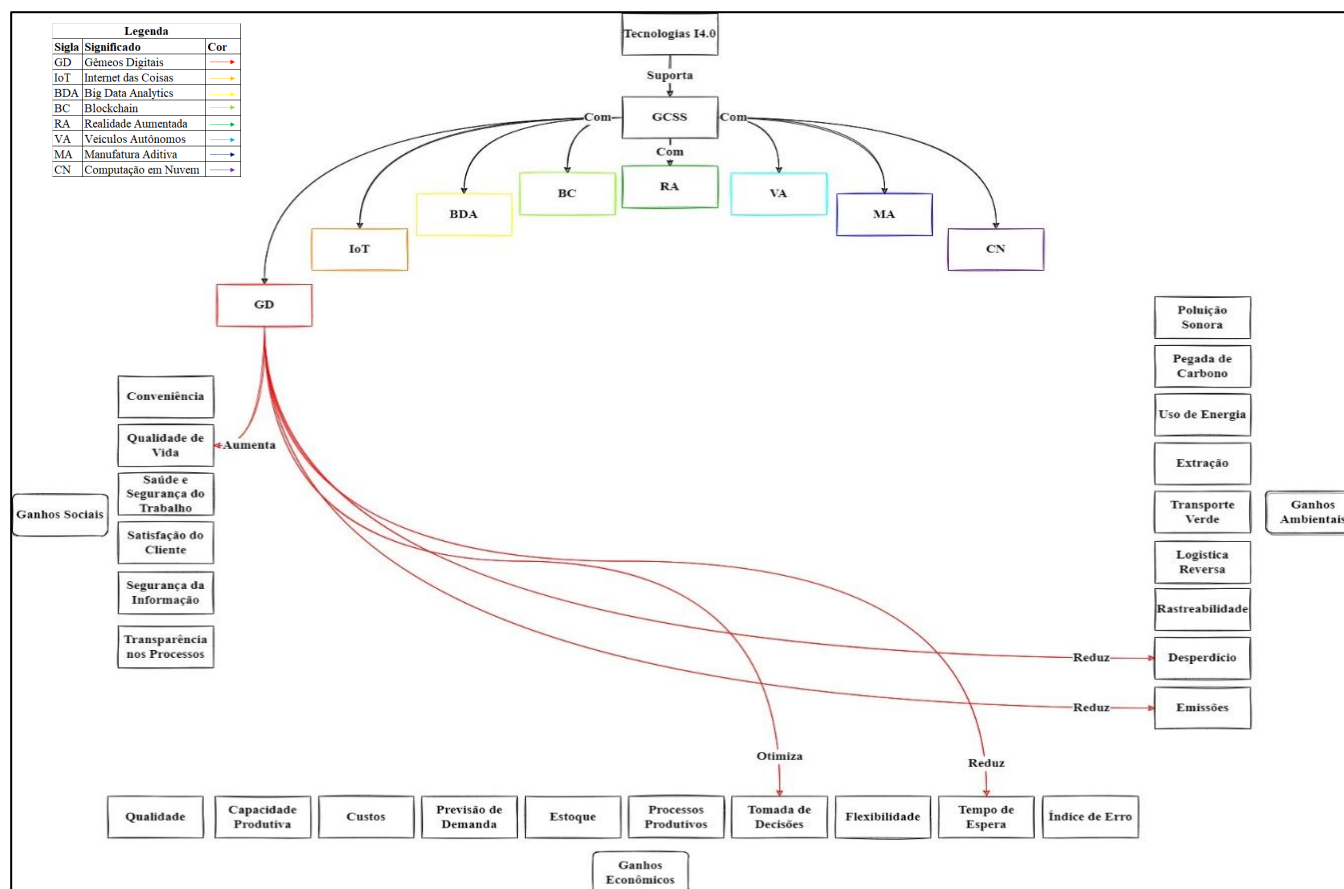
Para a leitura dos mapas, começa-se observando de cima para baixo de forma hierárquica (NOVAK e CAÑAS, 2010). Então como por exemplo as TDI4.0 suportam a GCSS, com GD, IoT, BDA, BC, RA, VA, MA e CN. E cada um desses conceitos se relaciona com os conceitos da GCSS que pode pertencer ao conjunto dos ganhos sociais, econômicos e ambientais. Todas essas relações e conexões foram elaboradas e suportadas com base nos dados coletados pela Revisão Bibliométrica e Sistemática da Literatura.

Dentro dos conjuntos dos ganhos sociais foram encontrados como ganho a Conveniência (facilitação na execução de tarefas), Qualidade de Vida, Saúde e Segurança do Trabalho, Satisfação do Cliente, Segurança da Informação e Transparência nos Processos. Em relação a quantidade de relações entre as TDI4.0 o aumento da Saúde e Segurança do Trabalho, Segurança da Informação, Satisfação do Cliente e Transparência dos Processos são os elementos que possuem mais conexões com as TDI4.0, ao passo que o aumento da Conveniência e Qualidade de Vida, só receberam uma conexão cada.

Dentro do conjunto dos ganhos ambientais foram identificados como ganhos a redução da Poluição Sonora, Pegada de Carbono, Uso de Energia, Extração, Transporte Verde, Logística Reversa, Rastreabilidade, Desperdício e Emissões. Em relação a quantidade de conexões entre as TDI4.0 a redução de Emissões, Desperdícios e Uso de Energia, com a otimização da Rastreabilidade e Transporte Verde, reúnem mais conexões, enquanto a redução da Poluição Sonora, Pegada de Carbono e a otimização da Logística Reversa, só possuem uma conexão cada.

Dentro do conjunto dos ganhos econômicos foram encontrados como ganhos a Qualidade, Capacidade Produtiva, Custos, Previsão de Demanda, Estoque, Processos Produtivos, Tomada de Decisões, Flexibilidade, Tempo de Espera, Índice de Erro. Com relação a quantidade de conexões entre os conceitos da TDI4.0 a redução de custos e a otimização da Tomada de Decisões, reúnem mais conexões, em seguida a otimização da Previsão de Demanda, Processos produtivos, redução de Tempo de Espera, Estoque e o Índice de Erro, e o aumento da Qualidade, Capacidade Produtiva e Flexibilidade.

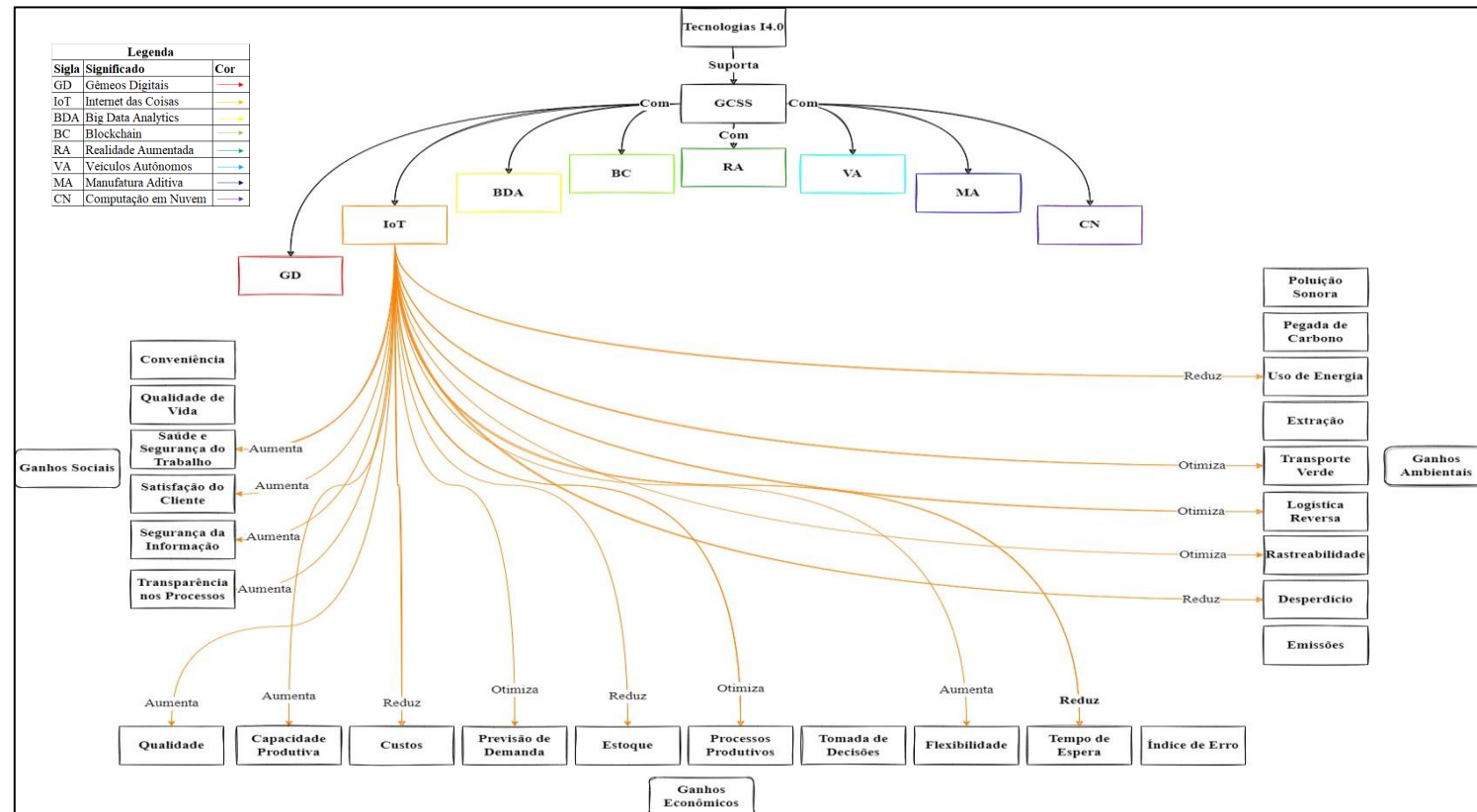
Figura 14 – Mapa Conceitual: As relações do GD com a GCSS



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar que na Figura 14 a GD dá suporte para a GCSS nos conceitos de aumento de qualidade de vida, otimizando a tomada de decisões, reduzindo o tempo de espera, o desperdício e as emissões.

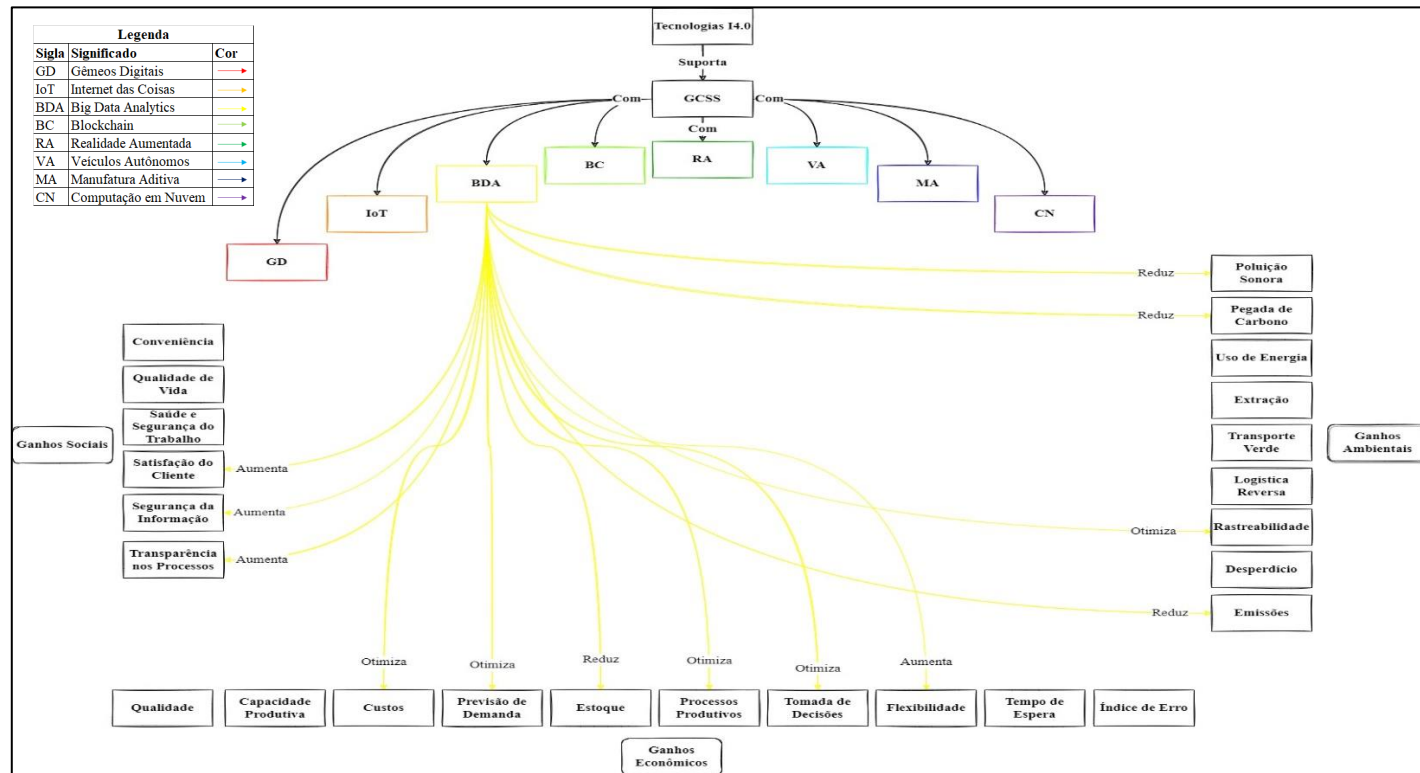
Figura 15 – Mapa Conceitual: As relações da IoT com a GCSS



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar na Figura 15 que a IoT dá suporte a GCSS, em relação aos ganhos sociais proporciona o aumento da saúde e segurança do trabalho, satisfação do cliente, segurança da informação e transparência nos processos. Nos ganhos econômicos aumenta a qualidade, capacidade produtiva e a flexibilidade da produção, reduzindo custos, estoque e o tempo de espera, otimizando a previsão de demanda e os processos produtivos.

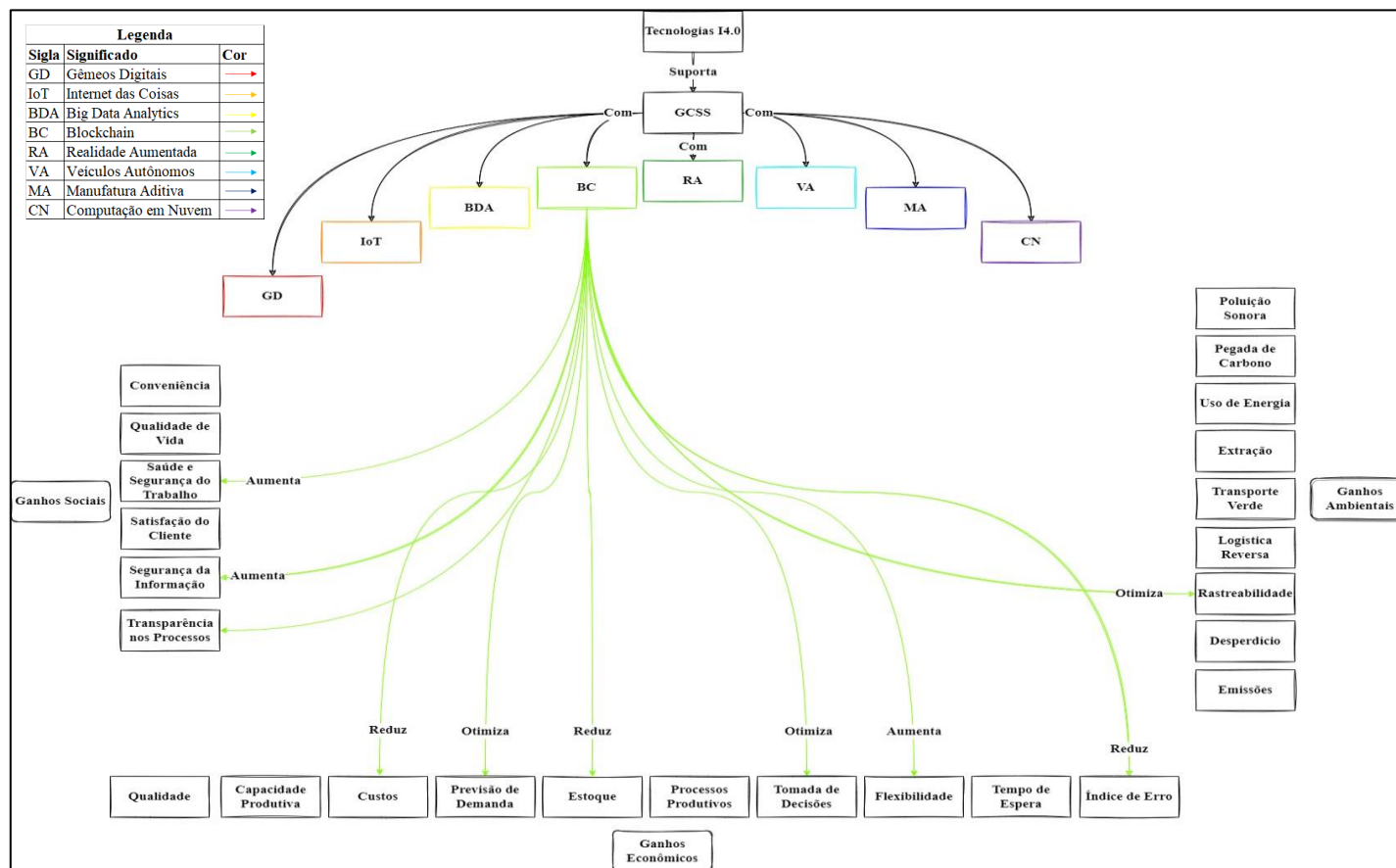
Figura 16 – Mapa Conceitual: As relações do BDA com a GCSS



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar na Figura 16 que o BDA dá suporte para a GCSS, em relação aos ganhos sociais o BDA suporta o aumento da saúde e segurança do trabalho, satisfação do cliente, segurança da informação e transparência nos processos. Nos ganhos econômicos da suporte para o aumento da qualidade, capacidade produtiva e flexibilidade, reduzindo custos, estoque e tempo de espera, e otimizando a previsão de demanda e processos produtivos. Nos ganhos ambientais o BDA possibilita a redução do uso de energia e do desperdício, otimizando o transporte verde, logística reversa e rastreabilidade.

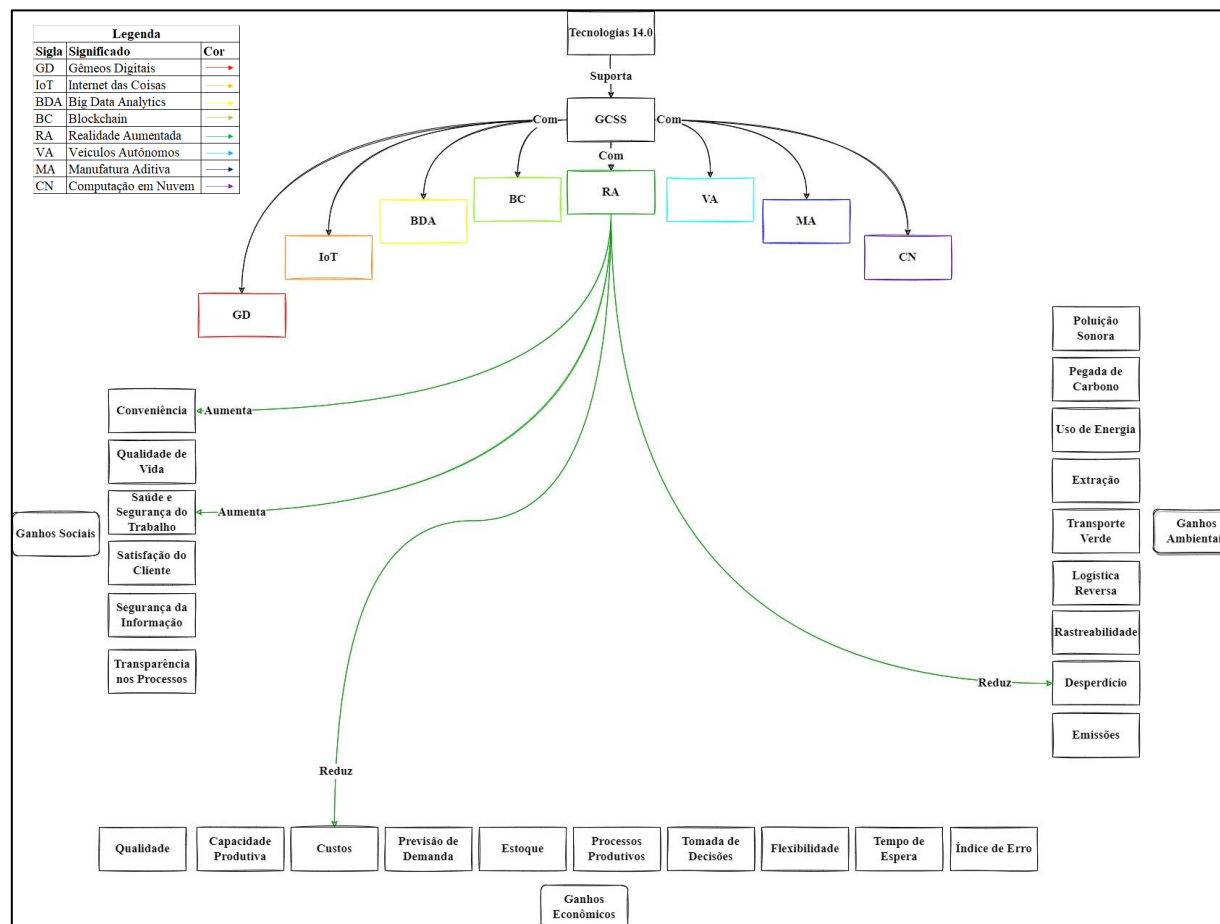
Figura 17 – Mapa Conceitual: As relações do BC com a GCSS



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar que na Figura 17 o BC dá suporte para a GCSS, em relação aos ganhos sociais aumenta saúde e segurança do trabalho e a segurança da informação. Nos ganhos econômicos proporciona aumento da flexibilidade, reduzindo custos, estoque e o índice de erro, otimizando a previsão de demanda e a tomada de decisões. Nos ganhos ambientais otimizada a rastreabilidade.

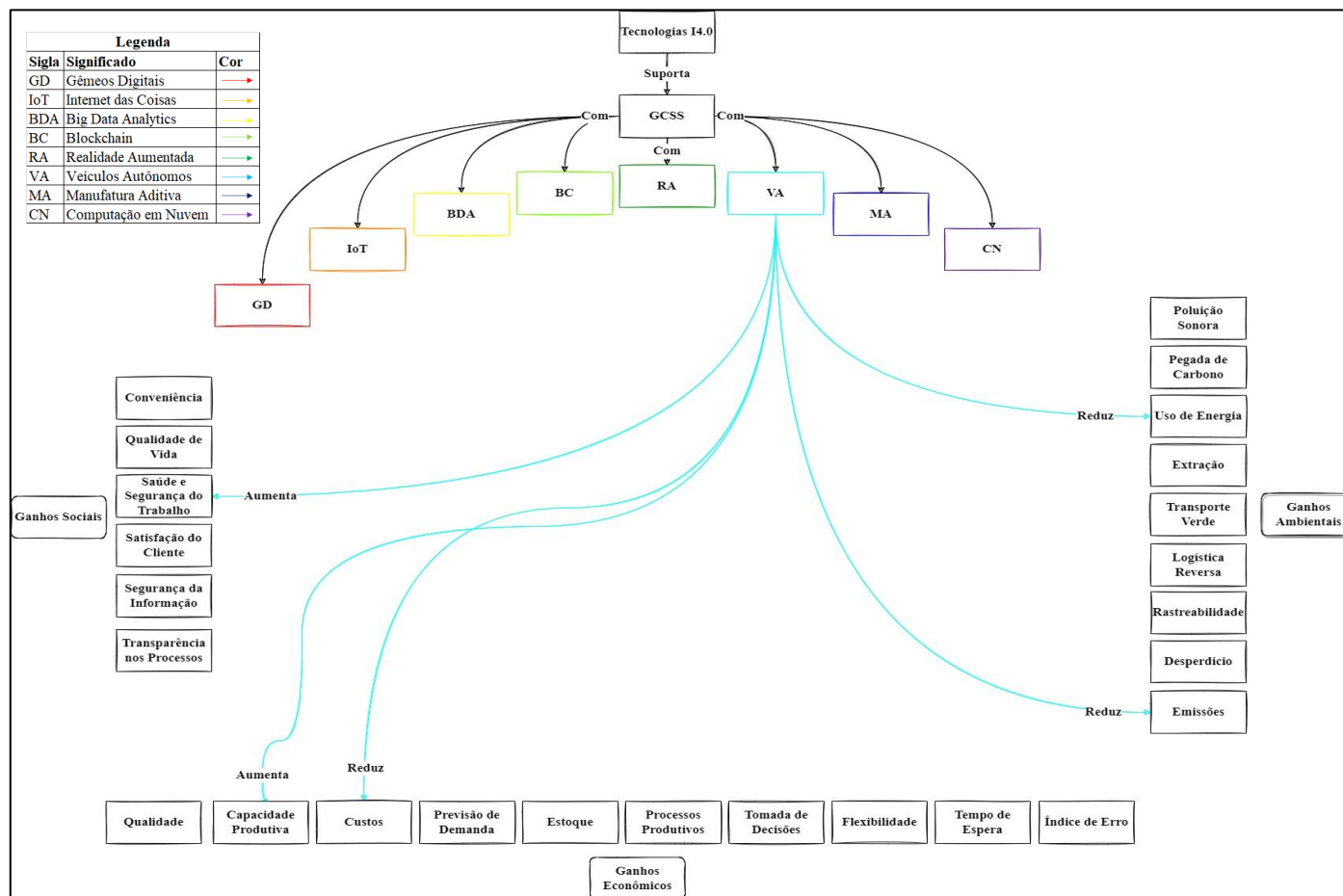
Figura 18 – Mapa Conceitual: As relações da RA com a GCSS



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar que na Figura 18 a RA dá suporte para a GCSS aumentando a conveniência, saúde e segurança do trabalho, reduzindo custos e o desperdício.

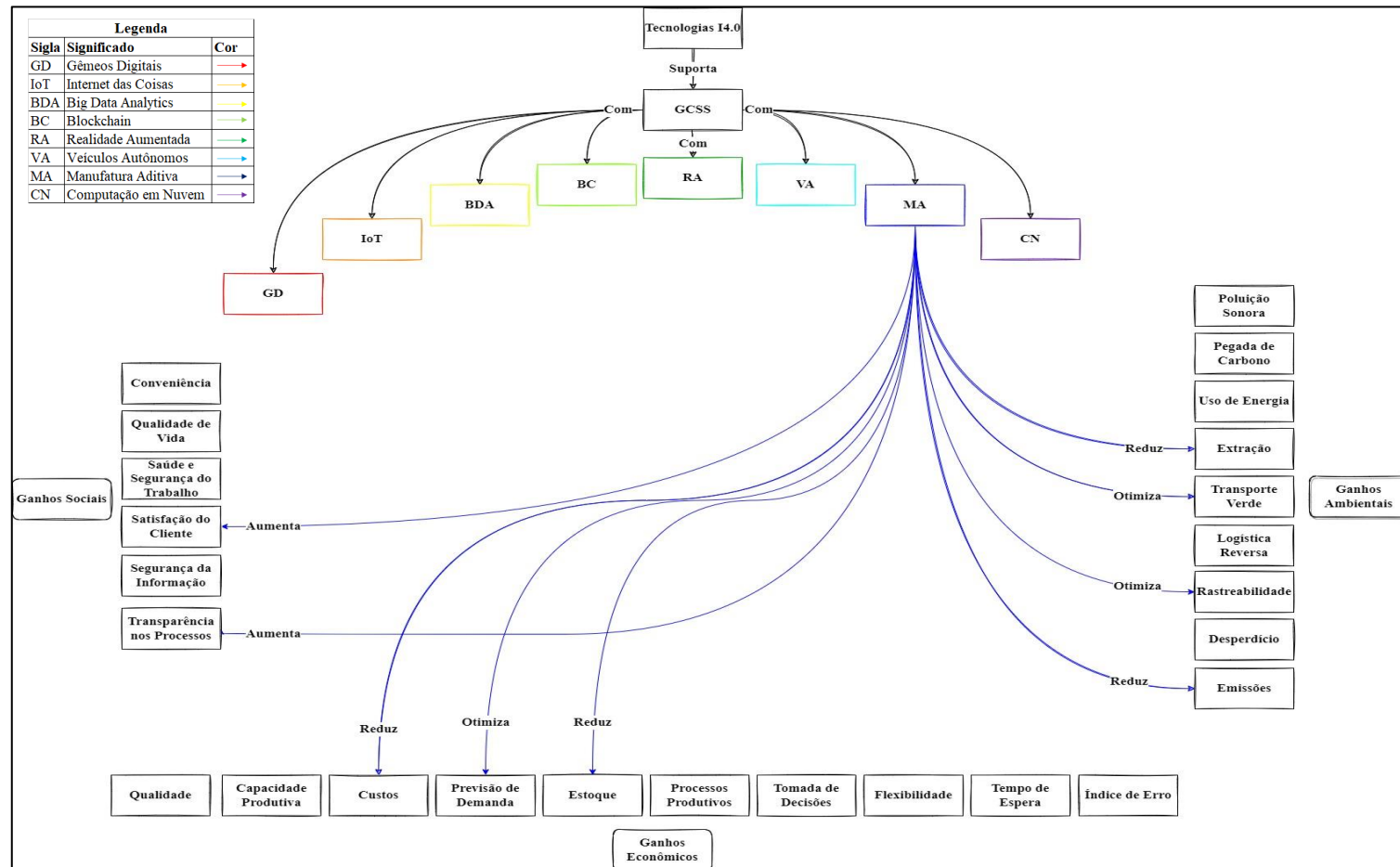
Figura 19 – Mapa Conceitual: As relações do VA com a GCSS



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar que na Figura 19 a VA dá suporte a GCSS aumentando a saúde e segurança do trabalho e capacidade produtiva, reduzindo custos, uso de energia e emissões.

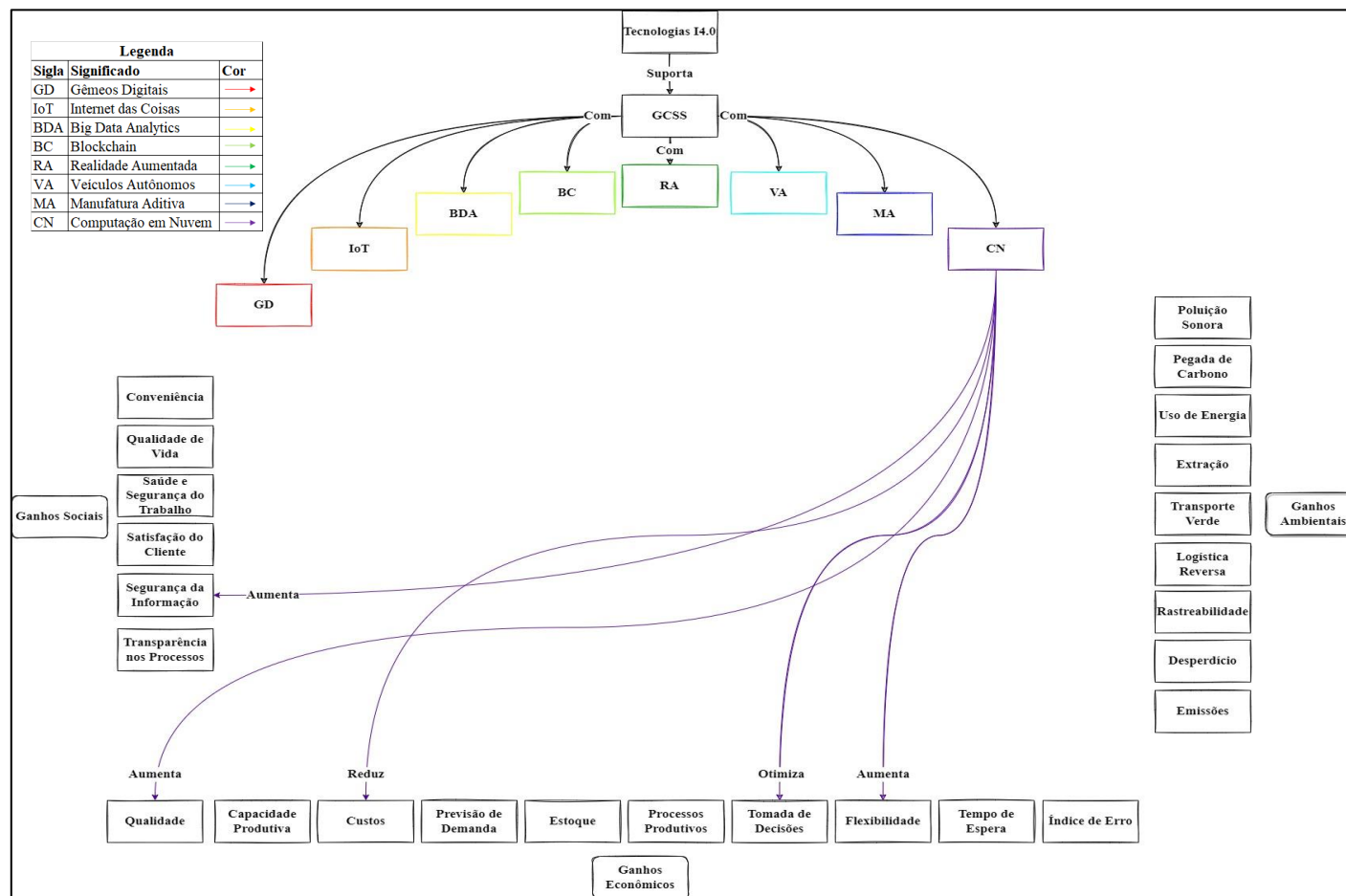
Figura 20 – Mapa Conceitual: As relações da MA com a GCSS



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar que na Figura 20 a MA dá suporte a GCSS, aumentando a satisfação do cliente e a transparência nos processos, reduzindo custos, estoque, extração e as emissões, otimizando a previsão de demanda, transporte verde e a rastreabilidade.

Figura 21 – Mapa Conceitual: As relações da CN com a GCSS



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar na Figura 21 a CN dá suporte para a GCSS aumentando a segurança da informação, qualidade e flexibilidade, reduzindo custos e otimizando a tomada de decisões.

Observa-se que entre as figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21 há TDI4.0 com mais conexões do que outras, mas isso pode ter correlação com as Tecnologias mais exploradas disposto no item 3.3.7. Outra observação é de que há mais conexões com o conjunto dos econômicos e ambientais, enquanto o conjunto dos sociais tem menos conexões, recordando o conceito do tripé da sustentabilidade (TBL) trabalhado Elkington e Rowlands (1999) aonde as ações para serem sustentáveis tem que atender a todo o tripé de forma simultânea, a CN como contraponto não tem publicações que estudem de forma isolada que indiquem ganho ambiental, logo essa tecnologia precisa ser mais pesquisada, pois com base nos dados dessa dissertação a CN não pode ser considerada sustentável.

4.2 APLICAÇÕES

Nessa seção, são apresentadas as possíveis aplicações do mapa proposto pelos profissionais atuantes, formuladores de políticas e órgãos reguladores, para incentivar e impulsionar o desenvolvimento de cadeias de suprimentos sustentáveis.

Uma abordagem interessante para a busca de informações por profissionais em busca de ganhos sociais, econômicos e ambientais seria a inversão do quadro, em que a iniciativa parte dos próprios elementos que compõem estes grupos. Por exemplo, os clientes ou parceiros de uma cadeia de suprimentos podem exigir que a organização melhore em aspectos como a Saúde e Segurança do Trabalho, a redução de custos e desperdícios. Neste caso, um mapa que liste as tecnologias disponíveis pode auxiliar os profissionais a identificarem qual tecnologia atende cada quesito.

Para os formuladores de políticas que buscam promover o desenvolvimento sustentável, é possível utilizar como guia a identificação das Tecnologias Digitais da Indústria 4.0 (TDI4.0) com maior potencial para atender a este objetivo. Com base nesta identificação, é possível formular políticas de incentivo, buscar alternativas para facilitar o acesso a estas tecnologias e estimular a pesquisa e desenvolvimento, tanto por parte das empresas quanto pelas universidades e instituições de pesquisa. O objetivo é garantir que as necessidades da geração presente sejam atendidas sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades de forma sustentável.

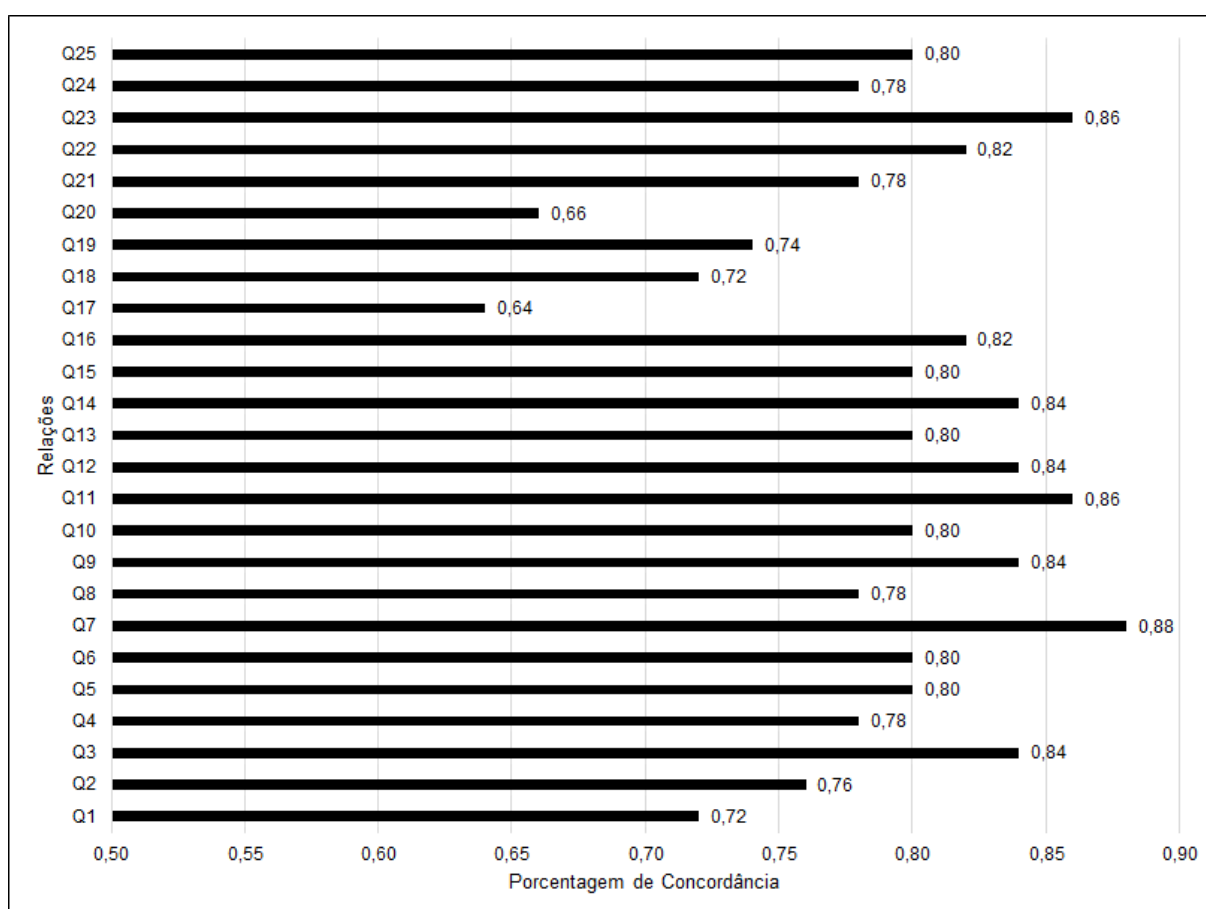
Os órgãos reguladores para exercer a fiscalização e o cumprimento da legislação, podem usufruir de algumas das TDI4.0, como por exemplo o *Blockchain* que aumenta a Segurança da

Informação e otimiza a Rastreabilidade, contribuindo para a redução do descumprimento das leis, facilitando a identificação e atuação dos responsáveis.

4.3 VERIFICAÇÃO DA ACEITAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

Nesta seção são apresentados os resultados e as análises dos dados coletados pela aplicação de questionários com pesquisadores das TDI4.0.

Figura 22 – Síntese do grau de concordância das relações



Fonte: Elaborado pelo autor

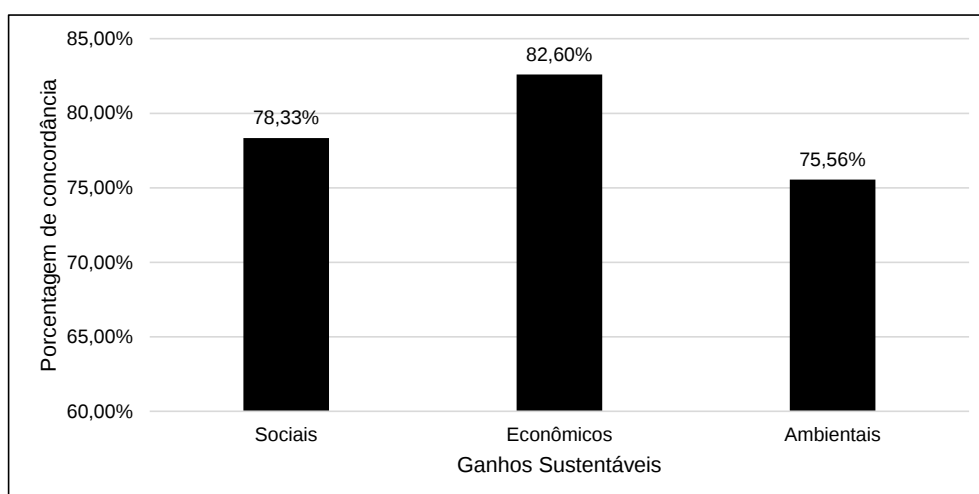
Os dados coletados e ilustrados na Figura 22 suportaram 20 relações com mais de 75% de concordância dos especialistas com o que é disposto pela literatura. Sendo estas o aumento da Qualidade de Vida (Q2 – 76,00%), Saúde e Segurança do Trabalho (Q3 – 84,00%), Satisfação do Cliente (Q4 – 78,00%), Segurança da Informação (Q5 – 80,00%), Transparência nos Processos (Q6 – 80,00%), Qualidade dos Produtos/Serviços (Q7 – 88,00%), Capacidade Produtiva (Q8 – 78,00%) e a Flexibilidade da Produção (Q14 – 84,00%). E a otimização na Previsão de Demanda (Q10 – 80,00%), Processos Produtivos (Q12 – 84,00%), Processos de Tomada de Decisões (Q13 – 80,00%), Transporte Verde (Q21 – 78,00%), Logística Reversa

(Q22 – 82,00%) e Rastreabilidade (Q23 – 86,00%). Além da redução de Custos Gerais (Q9 – 84,00%), Estoque (Q11 – 86,00%), Tempo de Espera (Q15 – 80,00%), Índice de Erro (Q16 – 82,00%), Desperdício (Q24 – 78,00%) e Emissões (Q25 – 80,00%).

Cinco relações tiveram menos de 75% de concordância dos pesquisadores, sendo estas o aumento da Conveniência (Q1 – 72,00%), redução da Poluição Sonora (Q17 – 64,00%), Pegada de Carbono (Q18 – 72,00%), Uso de Energia (Q19 – 74,00%) e Extração de Matéria Prima (Q20 – 66,00%). Destaca-se desses resultados os elementos dos ganhos econômicos tiveram porcentagem de concordância de 82,60%, já os ganhos sociais apenas metade manteve resultado acima dos 80%. Do conjunto dos ganhos ambientais dois elementos se destacam de forma negativa a redução da Poluição Sonora (Q17 – 64,00%) e a Extração de Matéria Prima (Q20 – 66,00%), tiveram as porcentagens mais baixas.

Na Figura 23 as questões foram agrupadas por tipo de ganhos sustentáveis, sociais, econômicos e ambientais.

Figura 23 – Agrupamento das questões por Ganhos Sustentáveis



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se analisar que os ganhos econômicos apresentam maior concordância do que os ganhos sociais e ambientais, isto pode ser produto da necessidade de mais pesquisas nesse campo do conhecimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foi realizado uma revisão bibliométrica e sistemática, que deu base para o desenvolvimento de um modelo conceitual das relações entre as Tecnologias Digitais da Indústria 4,0 com a GCSS e verificado a aceitação com especialistas. Nessa sequência de objetivos atingidos possibilitou responder à questão de pesquisa “Quais são as relações entre as TDI4.0 e a GCSS?”.

As relações encontradas foram de oito tecnologias para vinte e cinco conceitos sustentáveis, que pode-se concluir que ao longo dos anos as publicações reforçaram conceitos que foram se repetindo, ganhando embasamento teórico, tais como redução de custos, redução de emissões e aumento da saúde e segurança do trabalho. E as tecnologias BDA, IoT e BC são mais estudadas do que outras, o que leva a uma maior frequência de reincidências nos estudos.

A adesão de novas estratégias de negócios, contribui para a manutenção da competitividade, esse trabalho combina duas estratégias que possuem objetivos diferentes, mas meios similares. O mapa criado possibilita que gestores e órgãos regulamentadores relacionem para qual tecnologia digital da Indústria 4.0 recorrer quando determinado problema do tripé da sustentabilidade estiver em pauta.

As tecnologias da Indústria 4.0, como a IoT, o BDA e o *Blockchain*, podem desempenhar um papel fundamental para cumprir as demandas da ONU 2030, que incluem a erradicação da pobreza, a proteção do meio ambiente e a promoção do desenvolvimento sustentável.

A adoção dessas tecnologias pode ajudar a melhorar a eficiência da produção, reduzir o desperdício, aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos, tornando a produção industrial mais sustentável. A IoT, por exemplo, pode ser usada para monitorar e controlar o consumo de energia e água em tempo real, permitindo a identificação de oportunidades de economia de recursos e redução de custos.

Além disso, o BDA podem ser usadas para otimizar a logística e a cadeia de suprimentos, permitindo a redução do tempo e custo de transporte de mercadorias, bem como a identificação de oportunidades para a melhoria da eficiência energética.

Em resumo, as tecnologias da Indústria 4.0 têm o potencial de melhorar a sustentabilidade da produção industrial, contribuindo para o cumprimento das demandas da ONU 2030.

As limitações desse trabalho estão relacionadas com a análise tendo sido feita apenas sobre as tecnologias e o TBL, desconsiderando a gestão tanto da Indústria 4.0 quanto da Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentáveis.

Para trabalhos futuros, pesquisar o nível de gestão destas estratégias poderá complementar o mapa conceitual. Pode-se observar que na revisão bibliométrica que tem tecnologias digitais mais pesquisadas do que outras, podendo servir como ponto de partida para futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

ACCIARO, M.; GHIARA, H.; CUSANO, M. I. Energy management in seaports: A new role for port authorities. **Energy Policy**, 2014. Acesso em: 11 ago. 2022.

ADAMS, D.; DONOVAN, J.; TOPPLE, C. Achieving sustainability in food manufacturing operations and their supply chains: Key insights from a systematic literature review. **Sustainable Production and Consumption**, 2021. Acesso em: 07 jun. 2022.

AHI, P.; SERCY, C. Assessing sustainability in the supply chain: A triple bottom line approach. **Applied Mathematical Modelling**, 2014. Acesso em: 11 maio 2022.

ALVARADO, R. U. A Lei de Lotka na bibliometria brasileira. **Scielo Brasil**, Agosto 2002. Acesso em: 17 out. 2022.

AMARATUNGA, D.; BALDRY, D.; SARSHAR, M.; NEWTON, R. Quantitative and qualitative reserach in the built environment: application of "mixed" reserach approach. **Emerald**, 2002. 17-31. Disponível em: <<https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1108/00438020210415488>>. Acesso em: 28 maio 2021.

ANDER-EGG, E. **Introducción a las técnicas de investigación social:** para trabajadores sociales. 7ª. ed. Buenos Aires: Humanitas, 1978.

ANSARI, Z. N.; KANT, R. A state-of-art literature review reflecting 15 years of focus on sustainable supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, 2016. Acesso em: 20 mar. 2022.

ARAGON, A. **Corporate Digital Transformation:** What you must know about strategy, planning and leading. São Paulo: Inovação Empresarial, 2020. Acesso em: 06 nov. 2021.

ARDITO, L; PETRUZZELLI, AM; PANNIELLO, U; GARAVELLI, AC. Towards Industry 4.0 - Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. **Business Process Management Journal**, 2018. Acesso em: 23 maio 2022.

ASHTON, K. That ‘Internet of Things’ Thing. **RFID Journal**, 2009. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

AZIZI, N; MALEKZADEH, H; AKHAVAN, P; HAASS, O; SAREMI, S; MIRJALILI, S. IoT–Blockchain: Harnessing the Power of Internet of Thing and Blockchain for Smart Supply Chain. **Sensors**, 2021. Acesso em: 30 maio 2022.

BADIEZADEH, T.; SAEN, R. F.; SAMAVATI, T. Assessing sustainability of supply chains by double frontier network DEA: A big data approach. **Computers and Operations Research**, 2017. Acesso em: 19 maio 2022.

BAG, S; WOOD, LC.; XU, L; DHAMIJA, P; KAYIKCI, Y. Industry 4.0 and supply chain sustainability: framework and future research directions. **Benchmarking: An International Journal**, 2018. Acesso em: 23 set. 2021.

BAG, S; TELUKDARIE, A; PRETORIUS, J.H.C; GUPTA, S. Big data analytics as an operational excellence approach to enhance sustainable supply chain performance. **Resources, Conservation & Recycling**, 2019. Acesso em: 16 maio 2022.

BARKER, T. J.; ZABINSKY, Z. B. A multicriteria decision making model for reverse logistics using analytical hierarchy process. **Omega**, 2010. Acesso em: 16 maio 2022.

BECHTSIS, D; TSOLAKIS, N; VLACHOS, D; IAKOVOU, E. Sustainable supply chain management in the digitalisation era: The impact of Automated Guided Vehicles. **Journal of Cleaner Production**, 2016. Acesso em: 19 maio 2022.

BELHADI, A; KAMBLE, S; GUNASEKARAN, A; MANI, V. Analyzing the mediating role of organizational ambidexterity and digital business transformation on industry 4.0 capabilities and sustainable supply chain performance. **Supply Chain Management: An International Journal**, 2021. Acesso em: 03 jun. 2022.

BEN-DAYA, M.; HASSINI, E.; BAHROUN, Z. Internet of things and supply chain management: a literature review. **International Journal of Production Research**, 2017. Acesso em: 20 maio 2022.

BERKEMEIER, L; ZOBEL, B; WERNING, S; ICKEROTT, I; THOMAS, O. Engineering of Augmented Reality-Based Information Systems - Design and Implementation for Intralogistics Services. **Bus Inf Syst Eng**, 2018. Acesso em: 31 maio 2022.

BORTOLINI, M. et al. A three-objective optimization model for mid-term sustainable supply chain network design. **Computers & Industrial Engineering**, 2022. Acesso em: 06 jun. 2022.

BRADFORD, B. C. Bradford's law and the bibliography of science. **Nature**, 1970. Acesso em: 28 set. 2022.

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**, Brasília, DF, Agosto 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 13 set. 2022.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. Londres: Routledge, 2003.

BUI, T; TSAI, F; TSENG, M; TAN, R R.; YU, K D S; LIM, M K. et al. Sustainable supply chain management towards disruption and organizational ambidexterity: A data driven analysis. **Science Direct**, 28 Setembro 2020. 373 - 410. Acesso em: 31 maio 2021.

CARTER, C. R.; ROGERS, D. S. A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 2008. Acesso em: 22 abr. 2022.

CASSIA, A R; COSTA, I; DA SILVA, V H C; DE OLIVEIRA NETO, G C. Systematic literature review for the development of a conceptual model on the relationship between knowledge sharing, information technology infrastructure and innovative capability. **Technology Analysis & Strategic Management**, 2020. Acesso em: 01 nov. 2021.

CAVALCANTI, L. Inovação na cadeia de suprimentos: 7 soluções para ficar de olho! **Linkana**, 2020. Disponível em: <<https://www.linkana.com/blog/inovacao-na-cadeia-de-suprimentos/>>. Acesso em: 05 mar. 2023.

CENTOBELLI, P; CERCHIONE, R; OROPALLO, E; EL-GARAIHY, W H; FARAG, T; SHEHRI, K H. Towards a sustainable development assessment framework to bridge supply chain practices and technologies. **Sustainable Development**, 2021. Acesso em: 31 maio 2022.

CHALMETA, R.; BARQUEROS-MUNOZ, J.-E. Using Big Data for Sustainability in Supply Chain Management. **Sustainability**, 2021. Acesso em: 20 maio 2022.

CHEHBI-GAMOURA, S; DERROUICHE, R; DAMAND, D; BARTH, M. Insights from big Data Analytics in supply chain management: an all-inclusive literature review using

the SCOR model. **Production Planning & Control - The Management of Operations**, 2019. Acesso em: 16 maio 2022.

CHING, N T; GHOBAKHLOO, M; IRANMANESH, M; MAROUFKANI, P; ASADI, S. Industry 4.0 applications for sustainable manufacturing: A systematic literature review and a roadmap to sustainable development. **Journal of Cleaner Production** , 2021. Acesso em: 09 maio 2022.

COLE, R.; STEVENSON, M.; AITKEN, J. Blockchain Technology: Implications for Operations and Supply Chain Management. **Supply Chain Management - An International Journal**, 2019. Acesso em: 20 maio 2022.

CORREIA, J. M. F. Transição das práticas de produção mais limpa para economia circular: survey por porte em indústrias têxteis localizadas no Brasil, São Paulo, 2020. Acesso em: 13 set. 2022.

COUTINHO, L. A Terceira Revolução Industrial e Tecnológica: As Grandes Tendências de Mudança. **Economia e Sociedade**, 1990. Acesso em: 16 maio 2022.

CUI, L; GAO, M; DAI, J; MOU, J. Improving supply chain collaboration through operational excellence approaches: an IoT perspective. **Industrial Management & Data Systems**, 2020. Acesso em: 01 jun. 2022.

DAVIS, J; EDGAR, T; PORTER, J; BERNADEN, J; SARLI, M. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance. **Computers and Chemical Engineering**, 2012. Acesso em: 16 maio 2022.

DE OLIVEIRA NETO, G. C.; DA CONCEIÇÃO SILVA, A.; FILHO, M. G. How can Industry 4.0 technologies and circular economy help companies and researchers collaborate and accelerate the transition to strong sustainability? A bibliometric review and a systematic literature review. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 2022. Acesso em: 20 maio 2022.

DEJA, A; DZHUGURYAN, T; DZHUGURYAN, L; KONRADI, O; ULEWICZ, R. Smart Sustainable City Manufacturing and Logistics: A Framework for City Logistics Node 4.0 Operations. **energies**, 2021. Acesso em: 31 maio 2022.

DOBRESCU, R; MOCANU, S; CHENARU, O; NICOLAE, M; FLOREA, G. Versatile edge gateway for improving manufacturing supply chain management via collaborative

networks. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 2021. Acesso em: 31 maio 2022.

DOMINGO, M. C. An overview of the Internet of Things for people with disabilities. **Journal of Network and Computer Applications**, 2011. Acesso em: 08 jun. 2022.

DZHUGURYAN, T.; DEJA, A. Sustainable Waste Management for a City Multifloor Manufacturing Cluster: A Framework for Designing a Smart Supply Chain. **Sustainability**, 2021. Acesso em: 31 maio 2022.

EBINGER, F.; OMONDI, B. Leveraging Digital Approaches for Transparency in Sustainable Supply Chains: A Conceptual Paper. **Sustainability**, 2020. Acesso em: 07 jun. 2022.

ELDIEN, H. H.; GAZZEH, ; HAMMAD,. Sustainable Supply Chain Management in Smart City Design: A Case Study of Al Khobar City Centre. **Int. J Sup. Chain. Mgt** , 2020. Acesso em: 07 jun. 2022.

ELKINGTON, J.; ROWLANDS, I. H. Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. **Alternatives Journal**, 25, n. 4, 1999. 42-43. Acesso em: 05 15 2022.

ESMAEILIAN, B; SARKIS, J; LEWIS, K; BEHDAD, S. Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. **Resources, Conservation & Recycling**, 2020. Acesso em: 12 maio 2022.

FADC. ESG: entenda o conceito que está em alta no meio corporativo. **Fundação Abrinq**, 2021. Disponível em: <<https://www.fadc.org.br/noticias/entenda-o-conceito-ESG>>. Acesso em: 06 dez. 2022.

FALLAHPOUR, A; WONG, K Y; RAJOO, S; FATHOLLAHI-FARD, A M.; ANTUCHEVICIENE, J; NAYERI, S. An integrated approach for a sustainable supplier selection based on Industry 4.0 concept. **Environmental Science and Pollution Research**, 2021. Acesso em: 17 maio 2022.

FATORACHIAN, H.; KAZEMI, H. Impact of Industry 4.0 on supply chain performance. **Production Planning and Control**, 2020. Acesso em: 30 maio 2022.

FREDERICO, G F; GARZA-REYES, J A; ANOSIKE, A; KUMAR, V. Supply Chain 4.0: concepts, maturity and research agenda. **Supply Chain Management: An International Journal**, 2019. Acesso em: 09 maio 2022.

GHOBAKHLOO, M.; FATHI, M. Industry 4.0 and opportunities for energy sustainability. **Journal of Cleaner Production**, 19 fev. 2021. Disponível em: <<https://pdf.sciencedirectassets.com/271750/1-s2.0-S0959652621X00078/1-s2.0-S0959652621006478/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEGUaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIHnG0ZMbROdXzB4Fz77%2BOlaVsUL%2BAPQrgSg15zRbngaTAiEAKDz2jFXAeMXBaQUSFOJK%2Fqpaqd6Po48eNorS8E>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

GOOGLE. diagrams.net. **Google**, 2022. Disponível em: <<https://workspace.google.com/marketplace/app/diagramsnet/671128082532?pann=ogb>>. Acesso em: 17 out. 2022.

GRIEVES, M. Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. **LLC**, 2014. Disponível em: <>. Acesso em: 17 out. 2022.

GUBBI, J; BUYYA, R; MARUSIC, S; PALANISWAMI, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, 2013. Acesso em: 08 jun. 2022.

GUPTA, H; KUMAR, S; KUSI-SARPONG, S; JABBOUR, C J C; AGYEMANG, M. Enablers to supply chain performance on the basis of digitization technologies. **Industrial Management & Data Systems**, 2020. Acesso em: 30 maio 2022.

GURZAWSKA, A. Towards Responsible and Sustainable Supply Chains – Innovation, Multi-stakeholder Approach and Governance. **Philosophy of Management**, 2019. Acesso em: 27 maio 2022.

HASANOVA, H.; ROMANOV, A. Best Practices of Technology Management for Sustainable Digital Supply Chain, 2020. Acesso em: 07 jun. 2022.

HERVANI, A. A.; HELMS, M. M.; SARKIS, J. Performance measurement for green supply chain management. **Benchmarking: An International Journal**, 2005. Acesso em: 12 abr. 2022.

HOHN, M. M.; DURACH, C. F. Additive manufacturing in the apparel supply chain — impact on supply chain governance and social sustainability. **International Journal of Operations & Production Management**, 2021. Acesso em: 03 jun. 2022.

HONG, Z; ZHANG, H; GONG, Y; YU, Y. Towards a multi-party interaction framework: state-of-the-art review in sustainable operations management. **International Journal of Production Research**, 2021. Acesso em: 02 jun. 2022.

HSU, CY; YANG, CS; YU, LC; LIN, CF; YAO, HH; CHEN, DY; LAI, K. R; CHANG, PC. Development of a cloud-based service framework for energy conservation in a sustainable intelligent transportation system. **Int. J. Production Economics**, 2014. Acesso em: 16 maio 2022.

INAMDAR, Z; RAUT, R; NARWANE, V S.; GARDAS, B; NARKHEDE, B; SAGNAK, M. A systematic literature review with bibliometric analysis of big data analytics adoption from period 2014 to 2018. **Journal of Enterprise Information Management**, 2020. Acesso em: 07 jun. 2022.

ISASI-SANCHEZ, L; MORCILLO-BELLIDO, J; ORTIZ-GONZALEZ, J I; DURAN-HERAS, A. Synergic Sustainability Implications of Additive Manufacturing in Automotive Spare Parts: A Case Analysis. **Sustainability**, 2020. Acesso em: 27 maio 2022.

ISO. ISO 14001:2015. ISO, 2021. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/60857.html>>. Acesso em: 13 set. 2022.

IVANOV, D.; DOLGUI, A.; SOKOLOV, B. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. **International Journal of Production Research**, 2018. Acesso em: 23 maio 2022.

IVASCU, L. Measuring the implications of sustainable manufacturing in the context of Industry 4.0. **Processes**, 2020. Acesso em: 26 maio 2022.

JABBOUR, C J C ; FIORINI, P D C; NDUBISI, N O; QUEIROZ, M M.; PIATO, E L. Digitally-enabled sustainable supply chains in the 21st century: A review and a research agenda. **Science of the Total Environment**, 2020. Acesso em: 08 nov. 2021.

JAYARAMAN, V.; KLASSEN, R.; LINTON, J. D. Supply chain management in a sustainable environment. **Wiley Online Library**, 2007. Acesso em: 21 abr. 2022.

JIA, W.; WANG, W.; ZHANG, Z. From simple digital twin to complex digital twin Part I: A novel modeling method for multi-scale and multi-scenario digital twin. **Advanced Engineering Informatics**, 2022. Acesso em: 17 out. 2022.

KEIDANREN POLICY & ACTION. **Toward realization of the new economy and society - Reform of the economy and society by the deepening of “Society 5.0”**. Keidanren Policy & Action. [S.l.], p. 5. 2016.

KELLENS, K; BAUMERS, M; GUTOWSKI, T G. ; FLANAGAN, W; LIFSET, R; DUFLOU, J R. Environmental Dimensions of Additive Manufacturing - Mapping Application Domains and Their Environmental mplications. **Journal of Industrial Ecology S**, 2017. Acesso em: 09 maio 2022.

KHODAKARAMI, M; SHABANI, A; SAEN, R F; AZADI, M. Developing distinctive two-stage data envelopment analysis models: An application in evaluating the sustainability of supply chain management. **Measurement**, 2015. Acesso em: 12 abr. 2022.

KITTIPANYA-NGAM, P.; TAN, K. H. A framework for food supply chain digitalization: lessons from Thailand. **Production Planning & Control - The Management of Operations**, 2019. Acesso em: 07 jun. 2022.

KOOHATHONGSUMRIT, N; PHAKKULHAB, N; KENGPOL, A; MEETHOM, W. A Survey of Requirements for Thailand’s Industry 4.0: The Perspectives from Academics and Entrepreneurs. **PAEE**, 2020. Acesso em: 07 jun. 2022.

KUNKEL, S; MATTHESS, M; XUE, B; BEIER, G. Industry 4.0 in sustainable supply chain collaboration: Insights from an interview study with international buying firms and Chinese suppliers in the electronics industry. **Resources, Conservation & Recycling** , 2022. Acesso em: 06 jun. 2022.

LELOGLU, E. A Review of Security Concerns in Internet of Things. **Scientific Research**, 2017. Acesso em: 30 maio 2022.

LI, J.; FANG, H.; SONG, W. Sustainable supplier selection based on SSCM practices: A rough cloud TOPSIS approach. **Journal of Cleaner Production**, 2019. Acesso em: 07 jun. 2022.

LI, Z.-P.; CEONG, H.-T.; LEE, S.-J. The Effect of Blockchain Operation Capabilities on Competitive Performance in Supply Chain Management. **Sustainability**, 2021. Acesso em: 31 maio 2022.

LIAO, Y; DESCHAMPS, F; LOURES, E F R; RAMOS, L F P. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda. **International Journal of Production Research**, 2017. Acesso em: 12 dez. 2022.

LIBERATI, N. Augmented reality and ubiquitous computing: the hidden potentialities of augmented reality. **AI & Soc**, 2014. Acesso em: 31 maio 2022.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **ARCHIVES OF PSYCHOLOGY**, New york, 1932. 5-55.

LINTON, J. D.; KLASSEN, R.; JAYARAMAN, V. Sustainable supply chains: An introduction. **Journal of Operations Management**, 2007. Acesso em: 21 abr. 2022.

LIU, J; LI, X; CHEN, X; ZHEN, Y; ZENG, L. Applications of Internet of Things on smart grid in China. **13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2011)**, 2011. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5745734>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

LUCATO, W C; JÚNIOR, M V; VANALLE, R M; DA SILVA, R C. Management of international technology transfer: A case study in the Brazilian textile industry. **Gestão & Produção**, 2014. Acesso em: 16 dez. 2021.

MAGETO, J. Big Data Analytics in Sustainable Supply Chain Management: a focus on manufacturing supply chains. **Sustainability**, 2021. Acesso em: 30 maio 2022.

MANAVALAN, E.; JAYAKRISHNA, K. A review of internet of things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. **Computers & Industrial Engineering**, 2019. Acesso em: 11 maio 2022.

MANGLA, S K; KAZANCOGLU, Y; YILDIZBASI, A; OZTURK, C; CALIK, A. A conceptual framework for blockchain-based sustainable supply chain and evaluating implementation barriers: a case of the tea supply chain. **Business Strategy and the environment**, 2022. Acesso em: 09 maio 2022.

MANI, V.; GUNASEKARAN, ; DELGADO, C. Supply chain social sustainability: Standard adoption practices in Portuguese manufacturing firms. **International Journal of Production Economics**, 2018. Acesso em: 16 maio 2022.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia. **Atlas**, São Paulo, 2010. Acesso em: 01 maio 2021.

MARTÍN-GÓMEZ, A.; AGUAYO-GONZÁLEZ, F.; LUQUE, A. A holonic framework for managing the sustainable supply chain in emerging economies with smart connected metabolism. **Resources, Conservation & Recycling**, 2018. Acesso em: 11 maio 2022.

MASTOS, T D.; NIZAMIS, A; TERZI, S; GKORTZIS, D; PAPADOPOULOS, A; TSAGKALIDIS, N; IOANNIDIS, D; VOTIS, K; TZOVARAS, D. Industry 4.0 sustainable supply chains: an application of an iot enabled scrap metal management solution. **Journal of Cleaner Production**, 2020. Acesso em: 08 nov. 2021.

MASTOS, T D.; NIZAMIS, A; TERZI, S; GKORTZIS, D; PAPADOPOULOS, A; TSAGKALIDIS, N; IOANNIDIS, D; VOTIS, K; TZOVARAS, D. Introducing an application of an industry 4.0 solution for circular supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, 2021. Acesso em: 02 jun. 2022.

MOHER, D; LIBERATI, A; TETZLAFF, J; ALTMAN, DG. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **PLoS Medicine**, 2009. Acesso em: 06 jun. 2022.

MOHER, D; LIBERATI, A; TETZLAFF, J; ALTMAN, D G. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-Análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiol Servi. Saúde**, Brasília, 2015. Acesso em: 27 maio 2021.

NAKAMOTO, S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008. Acesso em: 20 ago. 2021.

NASCIMENTO, D L M; ALENCASTRO, V; QUELHAS, O L G; CAIADO, R G G; GARZA-REYES, J A; ROCHA-LONA, L; TORTORELLA, G. Exploring industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: a business model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019. Acesso em: 09 maio 2022.

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 4ª. ed. [S.l.]: GEN Atlas, 2014.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. The theory underlying concept maps and how to construct and use them. **Cornell University Press**, 2010. Disponível em: <file:///C:/Users/LEONILDO/Downloads/Dialnet-ATeoriaSubjacenteAosMapasConceituaisEComoElaboralo-3251296.pdf>. Acesso em: 29 set. 2022.

NOVAK, J. D.; MUSONDA, D. A twelve-year longitudinal study of science concept learning. **American Educational Research Journal**, 1991. 117-153. Acesso em: 28 set. 2022.

NUÑEZ, D.; FERNÁNDEZ, G.; LUNA, J. Cloud system. **Procedia Computer Engineering**, 2017. Acesso em: 30 maio 2022.

OGUNTEGBE, K. F.; PAOLA, N. D.; VONA, R. Communicating responsible management and the role of blockchain technology: social media analytics for the luxury fashion supply chain. **The TQM Journal**, 2022. Acesso em: 1 jun. 2022.

OLIVEIRA NETO, G C D; PINTO, F.R.; AMORIM, M.; GIANNETTI, B.F.; ALMEIDA, C.M.V.B. A framework of actions for strong sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 1629 - 1643, 2018. Acesso em: 01 nov. 2021.

OLIVEIRA, E. M. Transformações no mundo do trabalho, da revolução industrial aos nossos dias. **Caminhos de Geografia**, 2004. Acesso em: 16 maio 2022.

ONU, P.; MBOHWA, C. Sustainable Supply Chain Management: Impact of Practice on Manufacturing and Industry Development. **International Conference on Engineering for Sustainable World**, 2019. Acesso em: 07 jun. 2022.

OSIRO, L.; LIMA-JÚNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. A group decision model based on quality function deployment and hesitant fuzzy for selecting supply chain sustainability metrics. **Journal of cleaner production**, 2018. Acesso em: 20 mar. 2022.

OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, 2018. Acesso em: 30 maio 2022.

PAGE, MJ; MCKENZIE, JE; BOSSUYT, PM; BOUTRON, I; HOFFMANN, TC; MULROW, CD. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Prisma Statement**, 2020. Disponível em: <http://www.prisma-statement.org/>. Acesso em: 05 nov. 2021.

PAULA, D. C. S. G. D.; BRITO, P. F. D. Modelo Canvas de Internet das Coisas para Unidades de Conservação. **Congresso de Computação e Sistemas de Informação**, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/316191482_Modelo_Canvas_de_Internet_das_Coisas_para_Unidades_de_Conservacao>. Acesso em: 08 jun. 2022.

PETER, O.; MBOHWA, C. The Interlink Between Sustainable Supply Chain Management and Technology Development in Industry. **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**, 2018. Acesso em: 07 jun. 2022.

PISHDAR, M; SHAKIB, M D; ANTUCHEVICIENE, J; VILKONIS, A. Interval Type-2 Fuzzy Super SBM Network DEA for Assessing Sustainability Performance of Third-Party Logistics Service Providers Considering Circular Economy Strategies in the Era of Industry 4.0. **Sustainability**, 2021. Acesso em: 30 maio 2022.

PRAJAPATI, D; CHAN, F T. S.; CHELLADURAI, H; LAKSHAY, L; PRATAP, S. An Internet of Things Embedded Sustainable Supply Chain Management of B2B E-Commerce. **Sustainability**, 2022. Acesso em: 07 jun. 2022.

PRITCHARD, A. Statistical bibliography or bibliometrics? **Journal of Documentation**, 25, n. 4, 1969. 348-349. Acesso em: 15 set. 2022.

PYUN, J.; RHA, J. S. Review of Research on Digital Supply Chain Management Using Network Text Analysis. **Sustainability**, 2021. Acesso em: 07 jun. 2022.

RAHMANZADEH, S.; PISHVAEE, M. S.; GOVINDAN, K. Emergence of open supply chain management: the role of open innovation in the future smart industry using digital twin network. **twin network**, 2021. Acesso em: 06 jun. 2022.

RAJI, I O; SHEVTSHENKO, E; ROSSI, T; STROZZI, F. Industry 4.0 technologies as enablers of lean and agile supply chain strategies: an exploratory investigation. **The International Journal of Logistics Management**, 2021. Acesso em: 03 jun. 2022.

RAJI, I O; SHEVTSHENKO, E; ROSSI, T; STROZZI, F. Modelling the relationship of digital technologies with lean and agile strategies. **Supply Chain Forum: An International Journal**, 2021. Acesso em: 30 maio 2022.

RAJPUT, S.; SINGH, S. P. Industry 4.0 - challenges to implement circular economy. **Benchmarking an international journal**, 2019. Acesso em: 18 nov. 2021.

RAUT, R D.; GOTMARE, A; NARKHEDE, B E.; GOVINDARAJAN, U H; BOKADE, S U. Enabling technologies for Industry 4.0 manufacturing and supply chain: concepts, current status, and adoption challenges. **IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT (EMR)**, 2020. Acesso em: 24 maio 2022.

REJEB, A; SIMSKE, S; REJEB, K; TREIBLMAIER, H; ZAILANI, S. Internet of Things research in supply chain management and logistics: A bibliometric analysis. **Internet of Things**, 2020. Acesso em: 25 maio 2022.

REJEB, A; KEOGH, J G.; LEONG, G. K; TREIBLMAIER, H. The potentials of augmented reality in supply chain management: a state-of-the-art review. **Management Review Quarterly**, 2020. Acesso em: 31 maio 2022.

REJEB, A; KEOGH, J G.; LEONG, G. K; TREIBLMAIER, H. Potentials and challenges of augmented reality smart glasses in logistics and supply chain management: a systematic literature review. **International Journal of Production Research**, 2021. Acesso em: 31 maio 2022.

RÜßMANN, M; LORENZ, M; GERBERT, P; WALDNER, M; JUSTUS, J; ENGEL, P; HARNISCH, M. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. **BCG**, 2015. Acesso em: 20 maio 2022.

SAGGI, M. K.; JAIN, S. A survey towards an integration of big data analytics to big insights for value-creation. **Information Processing and Management**, 2018. Acesso em: 20 maio 2022.

SAID, O.; MASUD, M. Towards Internet of Things: Survey and Future Vision. **International Journal of Computer Networks (IJCN)**, 2013. Disponível em: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.741.3655&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SANTOS, A P; POZZETTI, J V T; MORAES, P A V; AVELINO, C H. Utilização da ferramenta Diagrama de Pareto para auxiliar na identificação dos principais problemas nas empresas. – **UniSalesiano** , 2020. Disponível em: <<https://unisalesiano.com.br/aracatuba/wp-content/uploads/2020/12/Artigo-Utilizacao-da-ferramenta-Diagrama-de-Pareto-para-auxiliar>>.

na-identificacao-dos-principais-problemas-nas-empresas-Pronto.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2022.

SARKIS, J. A boundaries and flows perspective of green supply chain management. **Supply Chain Management: An International Journal**, 2012. Acesso em: 21 abr. 2022.

SCHLECHTENDAHL, J; KEINERT, M; KRETSCHMER, F; LECHLER, A; VERL, A. Making Existing Production Systems Industry 4.0-Ready - Holistic approach to the integration of existing production systems in Industry 4.0 environments. **Prod. Eng. Res. Devel.**, 2014. Disponível em: <10.1007/s11740-014-0586-3>. Acesso em: 11 maio 2022.

SCHUH, G; ANDERL, R; DUMITRESCU, R; KRÜGER, A; HOMPEL, M T. Industrie 4.0 Maturity Index. **Acatech - National Academy of Science and Engineering**, 2020. Disponível em: <https://boundarysys.com/wp-content/uploads/2021/03/Acatech_Maturity_Index_2020-IAN.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

SCOPUS. Scopus Content Coverage Guide. **Scopus**, 2021. Disponível em: <https://www-elsevier-com.ez345.periodicos.capes.gov.br/solutions/scopus/how-scopus-works/content?dgcid=RN_AGCM_Sourced_300005030>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SEURING, S.; MÜLLER, M. Sustainability and supply chain management - An introduction to the special issue. **2008**, 24 Março 2008. 1545 - 1551. Acesso em: 01 jun. 2021.

SHARMA, M; KAMBLE, S; MANI, V; SEHRAWAT, R; BELHADI, A; SHARMA, V. Industry 4.0 adoption for sustainability in multi-tier manufacturing supply chain in emerging economies. **Journal of Cleaner Production**, 2020. Acesso em: 10 nov. 2021.

SILVA, M. C. A. D.; GASPARIN, J. L. A segunda revolução industrial e suas influências sobre a educação escolar brasileira, Maringá, 2005. Disponível em: <https://timelinefy-space-001.nyc3.digitaloceanspaces.com/files/4/4_XOKIYEOCSTZD9YY7QDQBUIIPQICIPYEM.pdf>. Acesso em: 16 maio 2022.

SILVEIRA, V. D.; COSTA, S. R. R. D.; RESENDE, D. Blockchain technology in innovation ecosystems for sustainable purchases through the perception of public managers. **Wseas transactions on business and economics**, 2022. Acesso em: 09 maio 2022.

STANK, T; ESPER, T; GOLDSBY, T J.; ZINN, W; AUTRY, C. Toward a Digitally Dominant Paradigm for twenty-first century supply chain scholarship. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 2019. Acesso em: 23 maio 2022.

STROUMPOULIS, A.; KOPANAKI, E. Theoretical Perspectives on Sustainable Supply Chain Management and Digital Transformation: A Literature Review and a Conceptual Framework. **Sustainability**, 2022. Acesso em: 02 jun. 2022.

SU, Z.; ZHANG, M.; WU, W. Visualizing Sustainable Supply Chain Management: A Systematic Scientometric Review. **Sustainability**, 2021. Acesso em: 01 jun. 2022.

SURJANDY; MEYLIANA; HIDAYANTO, A N; PRABOWO, H. The latest adoption blockchain technology in supply chain management: a systematic literature review. **Icic express letters**, 2019. Acesso em: 13 maio 2022.

TAVANA, M; SHAABANI, A; VANANI, I R; GANGADHARI, R K. A Review of Digital Transformation on Supply Chain Process Management Using Text Mining. **Process**, 2022. Acesso em: 07 jun. 2022.

THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, L. F.; SCAVARDA, A. J. Conducting systematic literature review in operations management. **Production Planning & Control**, Janeiro 2016. Acesso em: 05 nov. 2021.

TJAHJONO, B.; ESPLUGUES, C.; ARES, E.; PELAEZ, G. What does Industry 4.0 mean to Supply Chain. **Science Direct**, Vigo, Junho 2017. 1175-1182. Disponível em: <<https://sci-hub.se/10.1016/j.promfg.2017.09.191>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

TSAI, F M; BUI, TD; TSENG, ML; ALI, M H; LIM, M K.; CHIU, A SF. Sustainable supply chain management trends in world regions: A data-driven analysis. **Resources, Conservation & Recycling** , 2021. Acesso em: 22 nov. 2021.

TSENG, M L; WU, K J; LIM, M K.; WONG, W P. Data-driven sustainable supply chain management performance: a hierarchical structure assessment under uncertainties. **Journal of Cleaner Production**, 2019. Acesso em: 20 maio 2022.

TWYCROSS, A.; SHIELDS, L. Statistics made simple. Part 2. Standard deviation, variance and range. **PubMed**, 2004.

UMAR, M; KHAN, S A R; YUSLIZA, M Y; ALI, S; YU, Z. Industry 4.0 and green supply chain practices: an empirical study. **International Journal of Productivity and Performance Management**, 2021. Acesso em: 24 maio 2022.

VALVERDE, M. Especial | Práticas sustentáveis se tornam estratégias para os negócios. **Diário do Comércio**, 2020. Disponível em: <<https://diariodocomercio.com.br/economia/especial-praticas-sustentaveis-se-tornam-estrategicas-para-os-negocios/>>. Acesso em: 05 dez. 2022.

Vanalle, R M; Ganga, G M D; Filho, M G; Lucato, W C. Green supply chain management: An investigation of pressures, practices, and performance within the Brazilian automotive supply chain. **Journal of Cleaner Production**, 2017. Acesso em: 21 abr. 2022.

VANALLE, R. M.; SANTOS, L. B. Green supply chain management in Brazilian automotive sector. **Management of Environmental Quality**, 2013. Acesso em: 29 set. 2022.

VANITJAN. Vanitjan. **Freepik**, 2022. Disponível em: <https://br.freepik.com/fotos-gratis/braco-robotico-para-embalagem-com-producao-e-manutencao-de-sistemas-logisticos-renderizacao-em-3d_24869927.htm#query=veículos%20autonomos&position=4&from_view=search>. Acesso em: 29 set. 2022.

WALKER, H.; JONES, N. Sustainable supply chain management across the UK private sector. **Supply Chain Management: An International Journal**, 2012. Acesso em: 13 abr. 2022.

WANG, C.-H. Using quality function deployment to conduct vendor assessment and supplier recommendation for business-intelligence systems. **Computers & Industrial Engineering**, 2014. Acesso em: 16 maio 2022.

WCED. **Our Common Future**. World Commission on Environment and Development. [S.l.], p. 16. 1987.

WENG, W.-H.; LIN, W.-T. Development Trends and Strategy Planning in Big Data Industry. **Contemporary Management Research**, 2014. Acesso em: 16 maio 2022.

WOS. Web of Science. **Clarivate**, 2021. Disponível em: <<https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/>>. Acesso em: 05 nov. 2021.

YADAV, G; LUTHRA, S; JAKHAR, S K; MANGLA, S K; RAI, D P. A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of Industry 4.0 and circular economy: an automotive case. **Journal of cleaner production**, 2020. Acesso em: 11 maio 2022.

YANG, K; DUAN, T; FENG, J; MISHRA, A R. Internet of things challenges of sustainable supply chain management in the manufacturing sector using an integrated q-Rung Orthopair Fuzzy-CRITICVIKOR method. **Journal of Enterprise Information Management**, 2021. Acesso em: 04 jun. 2022.

ZEDINTERACTIVE. Zedinteractive. **Pixabay**, 2022. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/photos/realidade-aumentada-médico-3d-1957411/>>. Acesso em: 29 set. 2022.

ZEKHNINI, K; CHERRAFI, A; BOUHADDOU, I; BENGHABRIT, Y; GARZA-REYES, J A. Supply Chain Management 4.0: A Literature Review and Research Framework. **Benchmarking: An International Journal**, 2020. Acesso em: 05 jun. 2022.

ZHANG, A; ZHONG, R Y; FAROOQUE, M; KANG, K; VENKATESH, V.G. Blockchain-based life cycle assessment: an implementation framework and system architecture. **Resources, Conservation and Recycling**, 2020. Acesso em: 24 maio 2022.

ZHANG, X.; YU, Y.; ZHANG, N. Sustainable supply chain management under big data: a bibliometric analysis. **Journal of Enterprise Information Management**, 2020. Acesso em: 04 jun. 2022.

ZHU, C; DU, J; SHAHZAD, F; WATTOO, M U. Environment Sustainability Is a Corporate Social Responsibility: Measuring the Nexus between Sustainable Supply Chain Management, Big Data Analytics Capabilities, and Organizational Performance. **Sustainability**, 2022. Acesso em: 01 jun. 2022.

ANEXO A

Figura 24 – Respostas dos entrevistados

Questões	Resp. 1	Resp. 2	Resp. 3	Resp. 4	Resp. 5	Resp. 6	Resp. 7	Resp. 8	Resp. 9	Resp. 10
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Conveniência para clientes/funcionários?	Concordo	Concordo	Discordo	Concordo Totalmente	Concordo	Não estou decidido	Concordo Totalmente	Concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Qualidade de Vida para clientes/funcionários?	Concordo	Concordo	Concordo	Não estou decidido	Concordo	Não estou decidido	Concordo	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Saúde e Segurança do Trabalho?	Concordo	Concordo	Concordo Totalmente	Não estou decidido	Concordo	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Não estou decidido
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Satisfação do Cliente?	Concordo	Concordo	Concordo	Concordo	Concordo	Concordo Totalmente	Não estou decidido	Não estou decidido	Concordo	Concordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Segurança da Informação?	Concordo	Não estou decidido	Não estou decidido	Concordo	Não estou decidido	Concordo	Concordo Totalmente	Não estou decidido	Concordo Totalmente	Não estou decidido
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Transparência nos Processos?	Concordo	Não estou decidido	Concordo	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Qualidade dos Produtos/Serviços?	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Capacidade Produtiva?	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Não estou decidido	Não estou decidido	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução de Custos Gerais?	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Concordo	Não estou decidido	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização na Previsão de Demanda?	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução de Estoque?	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização dos Processos Produtivos?	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização do processo de Tomada de Decisões?	Concordo	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem o aumento da Flexibilidade da produção?	Concordo	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução do Tempo de Espera?	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução do Índice de Erro?	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução da Poluição Sonora?	Concordo	Não estou decidido	Discordo	Não estou decidido	Não estou decidido	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução da Pegada de Carbono?	Concordo	Não estou decidido	Concordo	Não estou decidido	Não estou decidido	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução do Uso de Energia?	Concordo	Não estou decidido	Concordo	Não estou decidido	Discordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução da Extração de Matéria Prima?	Concordo	Não estou decidido	Não estou decidido	Não estou decidido	Não estou decidido	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização do Transporte Verde?	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo	Não estou decidido	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização da Logística Reversa?	Não estou decidido	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a otimização da Rastreabilidade?	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo Totalmente	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução do Desperdício?	Concordo	Concordo Totalmente	Concordo	Não estou decidido	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente
Qual o seu grau de concordância com a afirmação de que as Tecnologias I4.0 promovem a redução das Emissões?	Concordo	Concordo	Concordo	Concordo	Concordo	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente	Discordo Totalmente

Fonte: Elaborado pelo autor