

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARIANA RIBEIRO DE OLIVEIRA

**OS IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 COM RELAÇÃO À SUSTENTABILIDADE
SOCIAL NA ÁREA DA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA: ANÁLISE SISTEMÁTICA
DA LITERATURA**

FRANCISCO BELTRÃO

2023

MARIANA RIBEIRO DE OLIVEIRA

**OS IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 COM RELAÇÃO À SUSTENTABILIDADE
SOCIAL NA ÁREA DA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA: ANÁLISE SISTEMÁTICA
DA LITERATURA**

**The impacts of industry 4.0 in relations to social sustainability in the
pharmaceutical industry area: systematic analysis of the literature**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Andriele de Pra Carvalho.
Coorientador: Douglas da Costa Ferreira.

FRANCISCO BELTRÃO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MARIANA RIBEIRO DE OLIVEIRA

**OS IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 COM RELAÇÃO À SUSTENTABILIDADE
SOCIAL NA ÁREA DA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA: ANÁLISE SISTEMÁTICA
DA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 27 de junho de 2023

Andriele de Pra Carvalho
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Francisco Beltrão

Douglas da Costa Ferreira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Francisco Beltrão

Paula Regina Zarelli
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Francisco Beltrão

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

FRANCISCO BELTRÃO

2023

Dedico este trabalho à minha mãe, por todo amor incondicional e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe por todo amor e suporte incondicionais, por ter sempre acreditado nos meus sonhos e me apoiado.

Agradeço à minha avó que não está fisicamente conosco, mas que morará para sempre nos meus pensamentos e coração.

Agradeço a todos meus familiares por sempre terem me apoiado, torcido e me proporcionarem a melhor educação possível.

À professora Dr.^a Andriele de Pra Carvalho pela orientação e ensinamentos que me permitiram evoluir como profissional.

Ao meu coorientador professor Dr. Douglas da Costa Ferreira por toda colaboração e instrução.

À professora Dr.^a Paula Regina Zarelli, por ter aceitado o convite à banca e por toda dedicação.

Aos meus amigos Ágatha, Andressa, Gabriela e Gabrielle por toda parceria, paciência, apoio, carinho e torcida nessa longa caminhada que iniciamos juntas em 2018. Agradeço todas as risadas, dificuldades, ensinamentos e vivenciamos no tempo que passamos juntas.

Agradeço também aos meus demais amigos que conheci durante a graduação todo suporte e amizade que construímos durante todos esses anos.

RESUMO

Desde os primórdios da 1ª Revolução Industrial, a inserção de máquinas para otimização da atividade manufatureira despertou descontentamento social em razão do impacto nas atividades dos trabalhadores, que foram substituídos por uma mão de obra inanimada. Com a evolução tecnológica e o surgimento de ferramentas inovadoras, as quais proporcionam aumento de produtividade e redução de custos, a preocupação com a diminuição da oferta de emprego e substituições na área industrial com a intensa automação e digitalização de processos, reacendeu o debate social sobre quais os impactos na sustentabilidade social nas indústrias. Assim, o intuito desta revisão bibliográfica é discutir e analisar conhecimento e resultados encontrados em estudos já publicados de Indústria 4.0 e sustentabilidade social na indústria farmacêutica, os impactos das transformações digitais aplicadas à área da engenharia química nas indústrias, avaliando as tendências e as lacunas existentes na literatura atual.

Palavras-chave: indústria 4.0; engenharia química; sustentabilidade social; indústria farmacêutica.

ABSTRACT

Since the beginning of the 1st Industrial Revolution, the insertion of machines to optimize the manufacturing activity aroused social discontent due to the impact on the activities of workers, who were replaced by an inanimate workforce. With technological evolution and the emergence of innovative tools, which provide increased productivity and cost reduction, the concern with the decrease in job offers and replacements in the industrial area with the intense automation and digitization of processes, has reignited the social debate on what are the impacts on social sustainability in industries. Thus, the purpose of this bibliographical review is to discuss and analyze knowledge and results found in studies already published on Industry 4.0 and social sustainability in the pharmaceutical industry, the impacts of digital transformations applied to the area of chemical engineering in industries, evaluating trends and existing gaps in current literature.

Keywords: industry 4.0; chemical engineering; social sustainability; pharmaceutical industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As quatro Revoluções Industriais	15
Figura 2 – Métodos aplicados nos artigos	37
Figura 3 - Ano de publicação de todo o material publicado a partir de 1978.....	39
Figura 4 - Ano de publicação dos artigos analisados.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lista das principais tecnologias da Indústria 4.0	16
Quadro 2 - Impactos e transformações da Indústria 4.0 com a digitalização na Indústria Química	21
Quadro 3 - Estrutura e seleção da análise de dados pelo método PRISMA	27
Quadro 4 - Checklist PRISMA.....	28
Quadro 5 - Artigos relacionados ao tema sustentabilidade social	32
Quadro 6 - Lacunas existentes na temática de indústria 4.0 e sustentabilidade social	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ICSs	Sistemas de Controle Industriais
PLCs	Controles Programáveis
I4	Indústria 4.0
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
DMTs	Tecnologias de Manufatura Digital
IA	Inteligência Artificial
BDA	Análise de Big Data
PSS	Sistemas de Produtos e Serviços
CPS	Sistemas Cyber Físicos
IoT	Internet of Things
PROFARMA	Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Cadeia Produtiva Farmacêutica
PDP	Parcerias de Desenvolvimento Produtivo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1	CONTEXTUALIZANDO A INDÚSTRIA 4.0	14
3.2	PRINCIPAIS TECNOLOGIAS	16
3.2.1	Sistemas Cyber Físicos	17
3.2.2	Internet das Coisas (IoT) e Blockchain	17
3.2.3	Computação na Nuvem e Cloud Manufacturing	18
3.2.4	Big Data	19
3.2.5	Inteligência Artificial (IA)	19
3.3	DIGITALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA QUÍMICA	21
3.4	SUSTENTABILIDADE SOCIAL	22
3.5	INDÚSTRIA FARMACÊUTICA	24
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	26
4.1	TIPO DE PESQUISA	26
4.2	COLETA DE DADOS	27
4.3	ANÁLISE DOS DADOS	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1	ANÁLISE DOS PRINCIPAIS RESULTADOS	32
5.2	ANÁLISE DOS MÉTODOS	36
5.2.1	Método Qualitativo e Revisão Sistemática da Literatura	37
5.2.2	Método Quantitativo e Revisão Sistemática da Literatura	38
5.2.3	Método Quali-Quantitativo e Revisão Sistemática da Literatura	38
5.2.4	Método Qualitativo, Revisão sistemática da Literatura e Estudo de Caso	39
5.3	ANÁLISE DO ANO DE PUBLICAÇÃO DOS ARTIGOS	39
5.4	PRINCIPAIS LACUNAS	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Considerada como a revolução industrial alavancada pelas transformações tecnológicas com o objetivo de impulsionar a produtividade e eficiência das atividades manufatureiras, os conceitos da Indústria 4.0 (I4) ganharam espaço na última década ao proporcionarem as empresas a possibilidade de se manterem competitivas em uma era de intensa globalização (XU *et al*, 2021). Atualmente, é possível observar a importância de tecnologias emergentes em diversos aspectos da sociedade, sobretudo no aprimoramento de atividades produtivas industriais, com automação e uso integrado das tecnologias digitais, permitindo o desenvolvimento de Sistemas de Controle Industriais (ICSs), infraestrutura fundamental cuja estruturação ocorre por controladores programáveis (PLCs) responsáveis pela automação do controle e monitoramento de processos físicos (KUO, SHYU e DING, 2019).

Pioneira nos conceitos de fábricas inteligentes, a Alemanha assumiu esse papel de destaque ao propor, através de medidas governamentais, novo layout estratégico para a modernização industrial. Cientistas alemães em conjunto com o governo federal alemão estabeleceram o termo Indústria 4.0 como um importante elemento de alta tecnologia, almejando o aumento da capacidade produtiva do país via controle digital da manufatura (GUPTA *et al*, 2021). Portanto, de acordo com Kuo, Shyu e Ding (2019), disseminou-se globalmente com base nessas inovações propostas modelos de negócios sustentáveis, cuja principal tarefa é atender as demandas de mercado de forma rápida e flexível.

A criação de manufaturas inteligentes sustentáveis para a criação de soluções agregando valor aos produtos e serviços prestados adotando inovações tecnológicas no sistema produtivo é o que se conhece por Indústria 4.0. Entretanto, a integração digital no processo manufatureiro ainda é algo complexo e cheio de desafios que demanda uma nova configuração do sistema produtivo (VERMA *et al*, 2022), assim como atenção às demandas introduzidas pelo desenvolvimento sustentável nos domínios ambiental, econômico e social, para a elaboração de um sistema inteligente de manufatura sustentável (BOCKEN e GERADTS, 2020).

Compreendido como importante elemento para vantagem competitiva e sustentabilidade corporativa, a Indústria 4.0, base para a elaboração de sistemas de negócio inovadores, apoia-se na conexão em tempo real e inteligente entre

máquinas e pessoas para o gerenciamento das atividades e a disseminação das informações para tomada de decisão. Com a introdução de Sistemas Cyber Físicos na realidade industrial, a integração das tecnologias digitais com a virtualização de toda a cadeia de valor é permitida, remodelando, dessa forma, todas as relações entre colaboradores, assim como clientes e fornecedores (BROZZI *et al*, 2020).

Com a criação de um novo ecossistema fabril, tecnologias inovadoras ganharam maior adesão devido às simplificações proporcionadas. Associadas aos Espaços Cyber Físicos, Computação na Nuvem, Internet das Coisas, Big Data, Inteligência Artificial e Cibersegurança são alguns dos suportes tecnológicos oferecidos pela I4 (SHAHATHA *et al*, 2021), as quais atendem as mais diversas áreas de atuação como genética, robótica, nanotecnologia, biotecnologia e impressão 3D (DOGARU, 2019).

Apesar dos impedimentos existentes para uma fabricação sustentável digital, sem dúvida a Indústria 4.0 trará inúmeros benefícios para a indústria e sociedade (VERMA *et al*, 2022). Em virtude da magnitude das modificações industriais, e os impactos na organização social, este estudo atuará na investigação da literatura em estudos já publicados sobre Indústria 4.0 e sustentabilidade dos impactos e transformações digitais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar de forma sistemática a relação entre Indústria 4.0 e sustentabilidade social na área da indústria farmacêutica da Engenharia Química a partir da revisão sistemática da literatura.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o levantamento bibliográfico dos estudos científicos na literatura;
- Identificar as principais variáveis analisadas nesses estudos;
- Entender quais as principais contribuições e lacunas de pesquisa na área.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CONTEXTUALIZANDO A INDÚSTRIA 4.0

As exigências para a manutenção de indústrias no cenário competitivo global proporcionaram profundas mudanças nos processos produtivos. A busca por constante atualização e aperfeiçoamento impulsionaram importantes transformações digitais por meio do desenvolvimento tecnológico, impactando não somente o processo produtivo, mas todo o sistema de negócio. A implantação dessas inovações no contexto atual é intitulada como a quarta revolução industrial ou, como mundialmente ficou conhecida, Indústria 4.0 (VERMA *et al*, 2022). Difundido na década de 2000, estabeleceu a modernização da era digital para a automação de processos tradicionais de produção, introduzindo um upgrade na tecnologia digital, nas formas de comunicação e no processamento de informação (SHAH *et al*, 2021).

Com o termo 4.0 fazendo alusão a um processo em andamento (PINTO, 2020), a expressão “Indústria 4.0” veio a público pela primeira vez em abril de 2011 em uma feira de indústrias sobre automação em Hannover, na Alemanha. Pioneira no uso de tecnologias digitais no campo industrial (PRODI *et al*, 2021), o conceito foi adotado estrategicamente pelo governo alemão (VERMA *et al*, 2022) através de um plano de medidas denominado *High Tech Strategy*, o qual foi promovido no ano de 2006 como uma importante e ampla estratégia nacional de avanço tecnológico (REISCHAUER, 2018) para a transformação do cenário industrial do país (VYAS e GUPTA, 2021).

Entretanto, essa grande transformação vivenciada pelo setor é resultado de uma sucessão de modernizações que ocorreram ao longo dos séculos. A história mundial vivenciou ao longo desses 200 anos de transformações, três importantes Revoluções Industriais, as quais impactaram profundamente as formas de produção, organização política e social (PASQUINI, 2020)

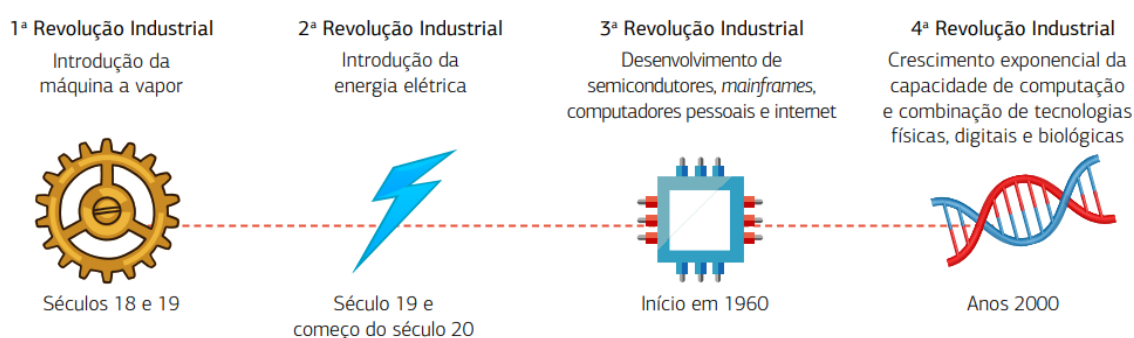
A Primeira Revolução Industrial, sucedida entre o final do século XVIII e início do século XIX, foi marcada pela introdução da máquina a vapor para a geração de energia e aumento de produtividade com a introdução de uma produção mecanizada, superando um modo de produção artesanal.

Ao longo do século XIX e início do XX, a Segunda Revolução Industrial introduziu o conceito de linhas de montagem para uma produção em série,

possibilitada pela dinamicidade na nova fonte de energia utilizada, a eletricidade (PINTO *et al*, 2020).

A Terceira Revolução, iniciada no século XX, marcou a utilização de tecnologias avançadas nos processos produtivos por meio da introdução de tecnologias digitais. Chamada de “quinta onda” por Reischauer (2018), passou a caracterizar uma economia voltada para um alto nível de conectividade, comunicação e informação com a chegada da eletrônica, principalmente com o surgimento da Internet, demarcando a era de intensa globalização.

Figura 1 - As quatro Revoluções Industriais



Fonte: Regina Magalhães e Annelise Vendramini (2018)

Dessa forma, como apresentado na Figura 1, é possível afirmar que, assim como as Revoluções Industriais, que causaram importantes modificações nos séculos passados em diversos aspectos da sociedade moderna e nos proporcionaram o surgimento de marcantes inovações, a Quarta Revolução Industrial vêm atuando em um processo contínuo de melhorias tecnológicas visando cada vez mais maior integração entre a manufatura e sistemas de produção inteligente assim como a automação dos processos. Dando continuidade ao que foi proporcionado pelas revoluções anteriores, a revolução da atualidade consiste em um conjunto de ferramentas e tecnologias visando maior velocidade dos processos em qualquer esfera da cadeia produtiva (DOGARU, 2019).

Conforme conceituado por Dogaru (2019), estruturada pelas redes, plataformas e tecnologias digitais, a Indústria 4.0 propõe a aproximação do mundo físico com o virtual proposta pela Indústria 4.0, por intermédio de um conjunto de tecnologias digitais, deve impactar diretamente na valorização de produtos e

serviços com a tecnologia agregada, como consequência direta da intensa automatização de atividades industriais, do ganho de produtividade com a aceleração dos processos que, passam a ser realizados em um menor intervalo de tempo, bem como a flexibilização e customização de produção conforme o cliente.

Sob essa perspectiva, os princípios e tecnologias da I4 têm sido aplicados para aperfeiçoar os processos de negócios, com a finalidade de se manterem competitivas. Com um mercado que exige cada vez mais a substituição de procedimentos tradicionais pela inserção de sistemas inteligentes para tomada de decisões rápidas e descentralizadas, empresas de manufatura utilizam de tecnologias inovadoras da Indústria 4.0 para uma organização extremamente integrada, baseada em uma interoperabilidade responsável por não somente torná-las competitivas, bem como atender as necessidades dos clientes de forma eficaz e veloz (CHATTERJEE *et al*, 2021).

3.2 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS

A transformação da manufatura através da revolução digital é um dos conceitos principais disseminados pela Indústria 4.0. Fornecendo a infraestrutura necessária para essa aplicação, a integração de tecnologias de manufatura digital (DMTs), como Inteligência Artificial (IA), Computação em Nuvem, Análise de *Big Data* (BDA), Tecnologias de *Blockchain* entre outras estão mudando consideravelmente o cenário global, estabelecendo novos paradigmas de competitividade (GILLANI *et al*. 2020), conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Lista das principais tecnologias da Indústria 4.0

Principais Tecnologias da Indústria 4.0	
Inteligência Artificial	Big Data
Block Chain	Segurança Digital
Internet das Coisas	Computação na Nuvem
Impressão em 3 dimensões	Nanotecnologia
Comunicação Entre Máquinas	Realidade Virtual
Automação Automobilística	Robótica

Fonte: Adaptado de Gajek *et al* (2022)

3.2.1 Sistemas Cyber Físicos

Nessa competição por fornecer produtos e serviços de qualidade em um contexto de renovações tecnológicas, fabricantes buscam a implementação de estratégias objetivando satisfazer as necessidades dos clientes de forma eficaz e veloz. Essa prática ocorre através de Sistemas de Produtos e Serviços (PSS), na qual tecnologias digitais são empregadas para execução de atividades de coleta, análise e compartilhamento de dados em tempo real a partir de amplo armazenamento em plataformas na nuvem (CHUANG e CHEN, 2022).

Essa inserção de novas tecnologias altamente interconectadas aos processos produtivos é o que promove intensa aproximação do mundo físico com o virtual, originando o que é conhecido como Sistemas Cyber Físicos (CPS) (PINTO *et al*, 2020). Grande influenciador da nova revolução industrial, os CPS ditam a nova tendência de introduzir de maneira equilibrada inovações tecnológicas integradas aos sistemas físicos de um sistema produtivo, o homem e a máquina, para o desenvolvimento de uma rede inteligente (VYAS e GUPTA, 2021)

A demanda para entender como relacionar esses dois mundos deve ocorrer através de uma relação simbiótica de simulações de sistemas físicos, as quais apresentam os elementos físicos necessários para a execução das atividades fabris como máquinas, sensores, computadores e redes físicas em geral, assim como a análise de dados e modelos de otimização para a contribuição virtual. As simulações são empregadas visando a solução de adversidades, como a de enfrentar as exigências específicas de produtos ou serviços decorrentes de uma produção mais flexível e customizável (CHUANG e CHEN, 2022).

3.2.2 Internet das Coisas (IoT) e Blockchain

Internet das Coisas (IoT) consiste em uma das áreas fundamentais da Indústria 4.0. Descrita como sistema de objetos altamente interconectados, a IoT é responsável pela troca rápida e segura de informações de equipamentos conectados à Internet, promovendo otimização da comunicação, da tomada de decisão e do controle operacional (SHAH *et al*, 2021). Introduzindo um novo paradigma no processamento de dados.

A garantia da estabilidade de comunicação, segurança e rastreamento das operações ocorre através de tecnologias *Blockchain* (BENZIDIA, MAKAOUI e

SUBRAMANIAN, 2021). De ampla adesão e popularidade no mercado, empresas utilizam da aplicação dessa tecnologia para o compartilhamento seguro e privado de dados obtidos de processos automatizados por meio de sua codificação virtual em blocos de informações, seguindo a ética de criptografia baseada na transparência, integridade e confidencialidade. Inicialmente utilizada apenas para a segurança de dados financeiros, atualmente, esta tecnologia apresenta vasta aplicação nos setores industriais. De fácil implementação e entendimento, tornou-se uma ferramenta fundamental para a infraestrutura de segurança de dados e para o fácil acesso à múltiplas informações. Para uma execução confiável desse recurso, é necessário a confiabilidade de 51% de elementos associados às redes, assim como grande disponibilidade de energia para as constantes verificações das informações. (VYAS e GUPTA, 2021).

Com a difusão da Internet das Coisas, houve o surgimento de um novo paradigma de processamento de dados por meio das redes, provocando um grande impacto em como os sistemas industriais são estruturados, bem como as habilidades exigidas (CHIARELLO *et al*, 2021).

3.2.3 Computação na Nuvem e Cloud Manufacturing

Computação em nuvem consiste em uma tecnologia de armazenamento de informações que proporciona rápido acesso aos dados requeridos, assim como seu compartilhamento e análise de forma remota e em tempo real por meio de dispositivos conectados à Internet (STHEL e LOUREIRO, 2018).

Durante todo o período de fabricação, a garantia da qualidade dos produtos e serviços é uma parcela vital no ciclo de vida de uma manufatura. O desenvolvimento de sistemas inteligentes integrados é fundamental para a disseminação de informações básicas para o desenvolvimento das atividades operacionais, assim como para a tomada de decisão, os quais são processados a partir do armazenamento de informações em plataformas virtuais, ou como simplesmente é denominado: na nuvem (CHUANG e CHEN, 2022).

Nos últimos dois séculos, a intensificação da progressão tecnológica de armazenamento de informações é bastante presente. Diferentes tecnologias, mídias e aparelhos foram desenvolvidos para suprir a necessidade de um armazenamento, como CDs, disco rígido de computadores, reduzindo cada vez mais a necessidade de espaços físicos, os quais são simplificados atualmente a pequenos dispositivos

mais eficientes e eficazes com elevada capacidade de retenção de informações online. Como atividade indispensável em uma empresa, o armazenamento de dados tornou-se uma atividade fundamental em nível organizacional, estando presente em diversas camadas, até mesmo aspectos voltados aos clientes (MARIANI, STYVEN e TEULON, 2021).

A partir da associação da Computação na Nuvem a outras tecnologias da Indústria 4.0, como a IoT, criou-se um modelo industrial intitulado como Cloud Manufacturing. Refere-se ao novo paradigma desenvolvido a partir da disseminação desses recursos nos diversos setores de uma manufatura (STHEL e LOUREIRO, 2018). Dessa forma, criou-se a necessidade de integrar os novos elementos que compõem uma indústria estruturada a partir da I4, com os sistemas de gestão responsáveis por fornecer a infraestrutura necessária para a continuidade da produção de uma manufatura sustentável, como os produtos e serviços em nuvem (CHUANG e CHEN, 2022).

3.2.4 Big Data

Uma das tecnologias emergentes mais disseminadas, *Big Data Analytics* (BDA) faz referência ao grande volume de dados que podem ser administrados para melhorar o desempenho do negócio (STHEL e LOUREIRO, 2018). Com o advento da revolução digital, impactando consideravelmente o negócio em razão da veracidade, volume e variedades dos dados computados não estruturados, fundamentais para a tomada de decisão.

Dessa forma, a organização dessas informações, assim como a elaboração de estratégias para seu uso fazem parte de uma crucial etapa de profissionais que buscam o processamento com o uso de softwares para a idealização de insights visando a soluções de questões importantes. Indiscutivelmente, o setor de marketing tornou-se uma importante área de aplicação dos conceitos criados pelo BDA (GUPTA *et al*, 2021).

3.2.5 Inteligência Artificial (IA)

Em fazendas, o monitoramento de pragas, doenças e condições climáticas podem ser fiscalizados com antecedência a partir de inteligência artificial (IA), robôs, drones e conectados à internet. Em escritórios, a utilização de IA também se faz

presente na rotina diária em setores financeiros para pagamentos e outras transações, agências de viagem, empresas de contabilidade, corretoras de imóveis e demais empresas de diversos ramos já possuem também inteligência artificial incorporada em suas atividades, contribuindo para um debate ético com a progressiva substituição da mão de obra humana (MAGALHÃES e VENDRAMINI, 2018).

De acordo com a Microsoft Azure (2022), útil em cenários complexos como programas de reconhecimento de imagem, carros autônomos e assistência virtual, a Inteligência artificial é um sistema de computador capaz de simular o raciocínio humano ao acesso de informações e durante a tomada de decisão rápida e precisa.

Portanto, a IA são programas de autoaprendizagem que seguem protocolos específicos para aprender de forma independente através de um banco de dados (GUPTA *et al*, 2021). O sistema artificialmente inteligente executa previsões e ações baseados nos padrões identificados em grande conjunto de dados coletados e analisados, tal como os erros que são absorvidos pela IA a fim de aumentar a precisão dos resultados.

Relacionada à IA, *Machine Learning*, ou aprendizado de máquina, é uma técnica de desenvolvimento de IAs, o qual se concentra em treinar programas de computadores para a análise de dados para o aprendizado da máquina tal qual um humano. Utiliza-se de algoritmos para a identificação de padrões nos dados analisados

A robótica também se relaciona à inteligência artificial, ao apresentar robôs controlados por softwares de IA comportando-se de maneira autônoma (MICROSOFT AZURE, 2022).

Com os processos de produção sendo transformados com o uso integrado de diversas tecnologias da I4, houve o aumento do uso de rotinas envolvendo robótica e inteligência artificial no gerenciamento de um complexo quadro de habilidades, resultando em rápidas melhorias no âmbito da comunicação, automação e, principalmente, os sistemas de globalização industrial (CHIARELLO *et al*, 2021).

Ainda, de acordo com Chiarello *et al* (2021), há uma margem de aproveitamento da IA na análise de um elevado volume de dados presentes na nuvem para a elaboração de insights, auxiliando na evolução do mercado de trabalho.

3.3 DIGITALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA QUÍMICA

Assim como diversos setores industriais, a indústria química produz enorme quantidade de dados diariamente para acompanhar o ritmo acelerado imposto pela atual era globalizada. Dessa forma, para atender essa demanda, espera-se profissionais cada vez mais qualificados na área de análise de dados, visando decisões cada vez mais rápidas e dinâmicas (PINTO *et al*, 2020). Esse é apenas um dos exemplos de como a realidade na indústria química pode ser afetada pelos impactos da revolução digital.

Dando continuidade às transformações propostas pelas Revoluções Industriais anteriores, com a industrialização e o surgimento da indústria de base, o desenvolvimento da petroquímica e a especialização dos produtos químicos, a indústria química demonstrou-se bastante versátil e adaptável. Com a Quarta Revolução Industrial, a integração dos processos produtivos e de gestão à tecnologia e intensa digitalização passou a fazer parte desse cotidiano para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis (STHEL e LOUREIRO, 2018).

A percepção da importância das transformações com as rápidas melhorias e evoluções evidencia a relevância das tecnologias no desenvolvimento industrial, estabelecendo as bases para as exigências futuras da formação do profissional e suas competências quanto aos conhecimentos básicos, de *software* e a capacidade de se relacionar com a segurança digital dos processos e dados (GAJEK *et al* 2022).

Quadro 2 - Impactos e transformações da Indústria 4.0 com a digitalização na Indústria Química

Indústria Química e a Digitalização	
Impulsionadores de transformação	Revolução digital, sustentabilidade, proteção climática.
Tecnologia	Digitalização e padronização da linguagem dos processos e operações
Matéria-prima	Uso intensivos de dados.
Pesquisa	Descentralização de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), Big Data.
Estrutura Corporativa	Cooperação mais flexível com seus <i>stakeholders</i> , modelos de negócios digitais, mais integração entre seus departamentos.

Produtos	Expansão do espectro da criação de valor: o setor químico torna-se um fornecedor de soluções extensivas e sustentáveis para os clientes e meio ambiente.
Meio ambiente, saúde e segurança	A sustentabilidade torna-se um modelo abrangente e um conceito inerente à indústria

Fonte: Adaptado de Sthel e Loureiro (2018)

Para uma produtividade cada vez mais dinâmica, alguns recursos, como apresentados no Quadro 2, tornam-se essenciais para a execução de atividades em tempo real em uma indústria com conceitos aplicados à Indústria 4.0. O processamento de dados destaca-se através das tecnologias como *Big Data* citada por Sthel e Loureiro (2018) no quadro acima, como uma melhoria implementada para a descentralização das informações, ampliando não só as perspectivas de um modelo remoto de informações, com a integração das tecnologias digitais, mas também todo o controle das etapas produtivas automatizadas de forma bastante flexível e dinâmica. (BELLINI *et al*, 2022).

3.4 SUSTENTABILIDADE SOCIAL

A sustentabilidade como tema de discussão, está ganhando gradativamente mais espaço no cenário mundial. Inicialmente fundamentada apenas na dimensão ambiental, atualmente os conceitos, princípios, metas e objetivos de desenvolvimento sustentável foram atualizados para a inclusão de questões sociais e econômicas. Organizações, que antes eram envolvidas apenas em razão de preocupações ambientais, passaram a abordar essas novas esferas do desenvolvimento sustentável nos processos industriais, em virtude da identificação de benefícios e vantagens para o combate dos desequilíbrios existentes (IVASCU, 2020).

Ainda de acordo com Ivascu (2018), modo de vida desorganizado, exploração desenfreada dos recursos naturais contribuíram para graves desdobramentos e efeitos negativos na distribuição social e econômica, assim como os problemas ecológicos, mudanças climáticas globais, comprometendo o direito à vida digna, assim como a disponibilidade de recursos para as futuras gerações.

Na tentativa de equilibrar os interesses inversamente proporcionais das empresas com as necessidades da população, organizações amparadas pelo desenvolvimento tecnológico proposto pela Indústria 4.0, buscam conciliar a

implementação da sustentabilidade à realidade manufatureira de produção (VERMA, *et al*, 2022).

Desse modo, muita atenção está sendo voltada para os impactos e empecilhos resultantes da inserção da sustentabilidade através das tecnologias oferecidas pela Indústria 4.0. Em termos de economia e meio ambiente, o interesse das corporações está em obter desenvolver um modelo sustentável de negócio através de maior eficiência e melhor aproveitamento dos recursos, bem como para os problemas sociais com proporcionamento de alívio físico e segurança no trabalho (BROZZI *et al*, 2020).

O ganho em produtividade, aliado à redução de custos, é uma das principais forças motrizes que direcionam o desenvolvimento de novas tecnologias. Nesse contexto, a automação proporcionada pela 4ª Revolução possibilitou a intensificação da produção, impactando diretamente na organização do ambiente industrial. De forma a acompanhar as exigências de um mercado cada vez mais competitivo, algumas alterações foram implementadas como a participação humana no processo produtivo. Assim, o aumento da velocidade de produção e eliminação de erros se tornaram imprescindíveis para uma manufatura eficiente, como descrito por Loureiro (2022), o qual afirma serem a eliminação de trabalhos repetitivos, mudança de trabalhos presenciais e conexão homem-máquina os principais fatores impactados pela Revolução Industrial 4.0. Com o grande salto tecnológico, tornou-se evidente a crescente independência das máquinas de controle humano, diminuindo proporcionalmente a necessidade de trabalhos repetitivos que exigem pouca ou nenhuma qualificação. Ainda de acordo com Loureiro, concomitante à autonomia das máquinas, a oferta de empregos de baixa complexidade, bem como especializados, será alterada pela automação industrial.

Historicamente, a temática do trabalho humano sempre gerou preocupações em relação aos efeitos da tecnologia nos postos de trabalho, resultando até mesmo em movimentos sociais como o Ludismo na Inglaterra no século XIX, em que trabalhadores destruíram máquinas como forma de pressionar seus empregadores pelas substituições de funções mais qualificadas por outras e demissões em massa. A disseminação de uma nova Revolução Industrial desperta as mesmas preocupações e debates de visões antagônicas sobre o uso de dispositivos tecnológicos, sistemas e ambientes digitais promover qualidade, segurança e

conforto humano, bem como consequências nefastas que a proliferação intensa de seu uso proporciona (GRAGLIA e LAZZARESCHI, 2018).

O cenário de desemprego tecnológico pode ser observado em diversos mercados internacionais, contudo sua manifestação ocorre em ritmos diferentes, como relata Rocha (2021). Em seu estudo, pontua que esse fenômeno na indústria brasileira passou a ser identificado a partir de 2014, ano em que houve expressiva queda da oferta de empregos, com destaque para os ramos industriais, o qual vinha aumentando até 2013. O Brasil teve seu ápice de industrialização no início de 1980. Devido a crise nesse mesmo período, nas décadas seguintes, observou-se redução de investimento para implantação industrial, e início de um processo interno de especialização setorial, principalmente nos ramos de tecnologia madura, intensivos em escala e em recursos naturais, passando a ser intenso comprador de tecnologia e importador de insumo, com a desestruturação de políticas de fomento para disseminação de tecnologias do complexo microeletrônico e da informação e comunicação.

A atualidade revela um contexto ainda desfavorável. Com a desatualizada e ineficiente política de fomento tecnológico, presenciamos um país deficiente e desajustado à demanda de mercado em relação à evolução das trajetórias tecnológicas do paradigma da 4ª Revolução Industrial. Dessa forma, a indústria brasileira atual é caracterizada pela baixa reação em relação ao aumento do desemprego tecnológico, devido à escassa participação de empresas brasileiras em setores relacionados ao desenvolvimento de tecnologias pertinentes a esse novo contexto produtivo (ROCHA, 2021).

3.5 INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

A indústria farmacêutica, assim como outros setores estratégicos da indústria brasileira foram impactados pela retomada da política desenvolvimentista no início do século XXI, período em que foi criado Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, o Ministério da Fazenda e o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Para suprir a demanda de fármacos e medicamentos surgiram duas novas políticas industriais: o Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Cadeia Produtiva Farmacêutica (Profarma) e as Parcerias de Desenvolvimento Produtivo (PDP).

Tais programas foram criados para o fortalecimento da indústria farmacêutica para ampliação da produção de medicamentos genéricos, produção interna de farmoquímicos e estruturação da vulnerabilidade econômica e sanitária do país (RODRIGUES, SILVA e KISS, 2022).

Com o desenvolvimento tecnológico, intensificação da globalização, as recentes mudanças no panorama dos problemas ambientais e a necessidade de promover atividades sustentáveis, a indústria farmacêutica também vem sendo impactada internamente e mundialmente.

Conforme Júnior *et al* (2019), a implantação de manufatura avançada trouxe mudanças profundas nas demandas e necessidades no contexto produtivo. A disseminação rápida da robotização e digitalização das indústrias promoveu o rápido crescimento de diversas economias, como é o caso da China. Assim, para acompanhar os novos paradigmas estabelecidos, diversas outras economias passaram a adotar os novos modelos e tecnologias criadas, consolidando uma nova era industrial. Assim, setores produtivos foram diretamente impactados nesse contexto, como o farmacêutico.

Por ser uma indústria altamente intensiva em ciência e conhecimento, é responsável por produzir e difundir conhecimento científico, bem como recursos humanos altamente qualificados.

Dada a elevada importância mundial e valor agregado a esse setor, levantam-se os questionamentos sobre os impactos que a nova ordem mundial pode proporcionar a ele.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 TIPO DE PESQUISA

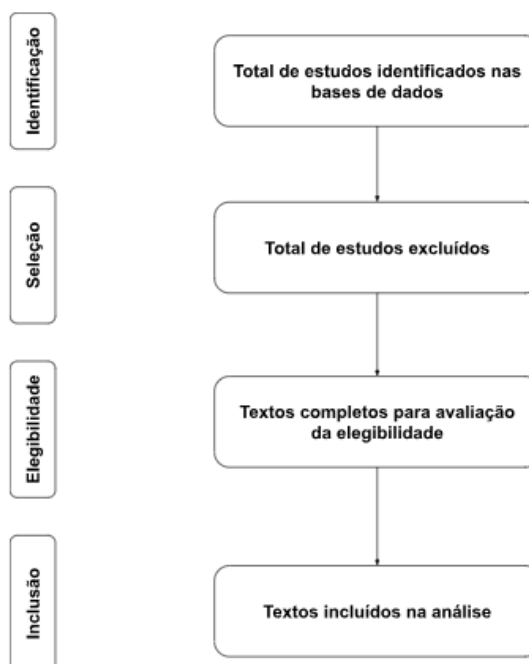
Esta pesquisa consiste em uma análise bibliográfica e sistemática que, direcionada pela caracterização da relação entre I4 e indústria farmacêutica, busca reunir informações relevantes em estudos já publicados como fonte. Através de métodos sistemáticos, a revisão sistemática da literatura (RSL) baseia-se na identificação e seleção das referências para a realização de análises críticas e sintetização dos dados que a literatura fornece (MOHER *et al*, 2015).

Segundo Caiado *et al* (2016), os motivos de se realizar uma RSL variam desde a interpretação e o esclarecimento de evidências disponíveis para o desenvolvimento de um estudo, reconhecimento de lacunas na literatura para informar possíveis estudos futuros, e por fim, atuação como ferramenta de tomada de decisão para outras pesquisas.

Ainda, a preparação e manutenção de uma RSL envolve sete que são:

- Formulação do problema;
- Localização e seleção dos estudos;
- Avaliação da qualidade dos estudos;
- Coleta de dados;
- Análise e apresentação dos resultados;
- Interpretação dos resultados e
- Melhoria e atualização da revisão sistemática.

O estudo foi desenvolvido utilizando a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) antes denominada QUORUM (*Quality of Reporting of Meta-Analyses*). O método PRISMA baseia-se em um checklist de 27 itens e um fluxograma de 4 etapas conforme Quadro 3, com o objetivo de apoiar os autores durante as revisões sistemáticas e meta-análises (MOHER *et al*, 2015). O estudo, portanto, compreenderá as seguintes etapas:

Quadro 3 - Estrutura e seleção da análise de dados pelo método PRISMA

Fonte: Autoria própria (2022)

O fluxograma apresentado evidencia as quatro etapas básicas de implementação do método PRISMA para revisão da literatura com auxílio do *checklist*. Inicialmente, através dos bancos de dados, os estudos são previamente selecionados, os quais posteriormente, as pesquisas de interesse são selecionadas para uma avaliação de elegibilidade, para então serem incluídos para análise crítica das informações disponibilizadas.

4.2 COLETA DE DADOS

A escolha dos artigos para serem analisados foi definido por meio das bases de dados *Science Direct*, *Web Of Science* no mês de maio, utilizando as palavras-chave *Industry 4.0*, *Chemical Engineering*, *Social Sustainability* e *Pharmaceutical Industry*, com filtragem pela categoria artigos publicados entre 2018 até a atualidade, categoria de artigos de revisão, excluindo livros, capítulos de livros, jornais, entre outros. A pesquisa foi realizada em artigos atuais, visando a caracterização do contexto atual em relação à temática de sustentabilidade social.

4.3 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados coletados de acordo com o tema Indústria 4.0 e sua relação com a área de Engenharia Química ocorreu a partir do checklist (Quadro 4) proposto pela metodologia PRISMA, o qual detalha elementos recomendados para uma revisão da literatura. Apresenta itens divididos em essenciais e não essenciais. Os artigos foram previamente selecionados a partir de seu título e resumo de acordo com a temática estudada. Posteriormente, será realizada a leitura completa dos artigos selecionados correlacionando às áreas de interesse indústria 4.0, Engenharia química, sustentabilidade social e indústria farmacêutica, estabelecendo assim as possíveis comparações e identificando as lacunas e oportunidades existentes no contexto estudado, assim como as principais dificuldades para a implementação de tecnologias da 4ª Revolução Industrial. Os resultados obtidos serão apresentados no formato de Quadro.

Quadro 4 - Checklist PRISMA

Nº do item	Seção e Tópico	Elementos Recomendados
Título		
1	Título	Identifique o artigo como uma revisão sistemática, meta análise ou ambos.
Resumo		
2	Resumo	Apresente um resumo estruturado incluindo, se aplicável: contexto base do trabalho científico (referencial teórico), objetivos, fonte dos dados, critérios de elegibilidade, participantes, intervenções, síntese dos métodos, avaliação do estudo; transparência dos métodos de estudo utilizados (avaliação crítica), resultados, limitações, conclusões e implicações dos principais achados no trabalho; número de registro da revisão sistemática.
Introdução		
3	Justificativa	Descreva a justificativa da revisão dentro do contexto proposto e conhecido.
4	Objetivos	Apresente uma afirmação assertiva e explícita sobre o(s) objetivo(s) abordado(s) na revisão, com referência a participantes, intervenções, comparações, resultados e designs de estudo (PICOS).
Métodos		
5	Crítérios de elegibilidade	Especifique as características do estudo (ex: PICOS, extensão do segmento) e as características dos relatos usados como critérios de elegibilidade (como intervalo de tempo considerado, idioma e status de publicação), apresentando a justificativa. Especifique os critérios de inclusão e exclusão utilizados na revisão e como os estudos foram agrupados para a síntese
6	Fontes de informação	Descreva todas as fontes de informação na busca usadas na pesquisa (como base

		de dados de cobertura com datas de coleta, contato com autores para identificação de estudos adicionais, registros, endereços eletrônicos, organizações, lista de referência ou outras fontes de informação pesquisadas ou consultadas para identificação dos estudos). Especifique a data de quando a fonte foi pesquisada ou consultada pela última vez.
7	Estratégia de busca	Apresente a estratégia completa de busca eletrônica para pelo menos uma base de dados, endereços eletrônicos e registros, incluindo qualquer limite ou filtro utilizados, garantindo a repetição da estratégia utilizada.
8	Processo de seleção	Especifique os métodos utilizados para decidir se um estudo atende os critérios de inclusão presentes na revisão, incluindo quantos revisores examinaram cada registro e cada artigo, se os revisores trabalharam de forma independente, e caso aplicável, os detalhes das ferramentas de automação utilizadas no processo.
9	Processo de coleta de dados	Especifique os métodos de coleta de dados dos artigos científicos, incluindo quantos revisores coletaram os dados de cada artigo, se os revisores trabalharam de forma independente; quaisquer processos utilizados na obtenção e confirmação de dados dos estudos investigados, e caso aplicável, os detalhes das ferramentas de automação utilizadas no processo.
10a	Lista de dados	Lista e defina todos os desfechos/resultados para os quais os dados foram pesquisados. Especifique, em cada estudo pesquisado, quais resultados eram compatíveis com qual domínio de resultados (ex: todas as medidas, momento no intervalo de tempo definido e análises), e caso não era compatível, especifique qual método foi utilizado para decidir quais resultados devem ser coletados.
10b		Liste e defina todas as outras variáveis utilizadas na pesquisa dos dados (ex: participantes e características intervencionistas e fontes de financiamento). Descreva qualquer suposição ou premissa feitas sobre informações imprecisas ou incompletas.
11	Risco de viés em cada estudo	Especifique os métodos utilizados para avaliar a presença de risco de viés nos estudos incluídos na revisão, incluindo os detalhes da ferramenta(s) utilizada, quantos revisores avaliaram cada estudo e se eles trabalharam de maneira independente, e caso aplicável, os detalhes da ferramenta de automação utilizada no processo.
12	Medidas de efeito	Especifique para cada desfecho a medida de efeito (ex: risk ratio e diferença média) utilizada na síntese ou apresentação dos resultados.
13a	Método de Síntese	Descreva os processos utilizados na decisão de quais estudos eram elegíveis para a elaboração da síntese (ex: a forma de tabelar as características de intervenção presentes no estudo e a comparação com os grupos planejados para cada síntese).
13b		Descreva os métodos necessários para preparação da apresentação ou resumo dos dados coletados (ex: como a abordagem dos autores frente a perda de medidas de sumarização ou a conversação entre os dados coletados).
13c		Descreva quaisquer métodos utilizados na formatação e confecção das tabelas ou qualquer forma de apresentação visual dos resultados de estudos individuais ou sínteses.
13d		Descreva quaisquer métodos utilizados para resumir os resultados e apresente a justificativa para o(s) método(s) escolhido. Caso a meta-análise tenha sido realizada,

		descreva o(s) modelo (s), método(s) usados para na identificação da presença e extensão de heterogeneidade estatística e o software utilizado.
13e		Descreva quaisquer métodos utilizados na busca de causas possíveis para a heterogeneidade entre estudos (ex: análise de subgrupos e meta regressão) .
13f		Descreva qualquer análise de sensibilidade conduzida como forma de avaliar a força dos resultados sintetizados.
14	Risco de viés entre estudos	Especifique qualquer avaliação do risco de viés que possa influenciar a evidência de forma cumulativa (como viés de publicação e relato seletivo nos estudos).
15	Análises adicionais	Descreva os métodos de análises adicionais presentes no trabalho científico (como sensibilidade ou análise de subgrupos e meta-regressão), se realizados, indicando quais foram pré-especificados
Resultados		
16a	Seleção de estudos	Forneça o número de estudos rastreados, avaliados para elegibilidade e incluídos na revisão sistemática apresentada, com razões para exclusão em cada estágio, preferencialmente por meio de um gráfico de fluxo (fluxograma).
16b		Cite os estudos que possam atender aos critérios de inclusão, mas que foram excluídos, e explique por que estes estudos foram excluídos
17	Características dos estudos	Cite cada estudo incluído na revisão e as suas características
18	Risco de viés entre os estudos	Apresente o risco de viés para cada estudo incluído na revisão.
19	Resultados de estudos individuais	Para todos os desfechos considerados (benefícios ou riscos), apresente para cada estudo: - (a) resumo/sumário simples de dados para cada grupo de intervenção - (b) efeito estimados e suas precisões (ex: intervalos de confiança) preferencialmente por meio de tabelas
20a		Para cada síntese, resuma de forma breve, as características e o risco de viés entre os estudos presentes na revisão
20b	Síntese dos resultados	Apresente os resultados de todas as sínteses estatísticas conduzidas na revisão. Caso a meta-análise tenha sido feita, apresente cada estimativa de síntese e a sua precisão(ex: intervalo de confiança) e as medidas de heterogeneidade estatística. Caso grupos sejam comparados, descreva a direção do efeito
20c		Apresente os resultados de todas as investigações conduzidas, com o intuito de verificar as possíveis causas de heterogeneidade entre os estudos
20d		Apresente o resultado de todas as análises de sensibilidade conduzidas como forma de avaliar a força dos resultados sintetizados
21	Relato de viés	Apresente os resultados da avaliação de risco de viés entres estudos. Apresente as avaliações de risco de viés decorrentes de estudos ausentes (decorrente de viés dos estudos) para cada síntese avaliada
22	Certeza da evidência apresentada	Apresente a avaliação de certeza (ou de confiança) no conjunto de evidências para cada resultado avaliado
Discussão		
23a	Interpretação	Forneça uma interpretação geral dos resultados no contexto de outras evidências
23b	Limitações de provas	Discuss any limitations of the evidence included in the review.

23c	Limitações de processos de revisão	Apresente uma interpretação geral dos resultados no contexto de outras evidências apresentadas e as implicações para futuras pesquisas.
23d	Implicações	Discuta as implicações dos resultados para a prática e a política e faça recomendações explícitas para pesquisas futuras
Outras informações		
24a	Cadastro	Forneça informações cadastrais da resenha, incluindo nome e número de registro, ou declare que a resenha não foi registrada
24b	Protocolo	Indique onde o protocolo de revisão pode ser acessado ou declare que um protocolo não foi preparado
24c	Alterações	Descrever e explicar quaisquer alterações nas informações fornecidas no registro ou no protocolo
25	Financiamento	Descreva as fontes de financiamento para a revisão sistemática e outras fontes de suporte (ex: suprimento de dados), papel dos financiadores na revisão sistemática.
26	Conflito de interesse	Declare qualquer conflito de interesse entre os autores da revisão
27	Disponibilidade dos dados, código e outros materiais	Apresente quais dos dados encontram-se publicamente disponíveis e onde eles podem ser encontrados. Tabele e formate a coleção de dados; os dados extraídos de estudos incluídos na revisão, os dados utilizados em todas as análises, o código analítico e outros materiais utilizados na revisão.

Fonte: Adaptado de PRISMA (2020)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme as bases de dados utilizados e a metodologia empregada, no *Science Direct*, foram identificados 1515 artigos, dessa forma, selecionando filtros de ano de publicação para melhor contextualização da atualidade e suas tendências por ser uma área volátil e de mudanças rápidas e, ainda, foram selecionados apenas artigos de revisão e área temática de Engenharia Química, e dessa forma a quantidade de artigos foi reduzida para 71. Na base de dados *Web of Science* foram obtidos 3 artigos, os quais foram selecionados por apresentarem relação com o tema estudado.

5.1 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS RESULTADOS

Ao realizar a leitura dos artigos em busca da caracterização do ramo industrial farmacêutico em relação aos impactos da indústria 4.0 sobre a sustentabilidade social, constatou-se que dos 74, apenas 8 artigos discorreram sobre o tema de sustentabilidade social na área farmacêutica, conforme apresentado no Quadro abaixo.

Quadro 5 - Artigos relacionados ao tema sustentabilidade social

Referências	Título	Relação Com o Tema	Conceito de sustentabilidade Social
Marques <i>et al</i> (2020)	Decision-support challenges in the chemical-pharmaceutical industry: Findings and future research directions	A utilização de tecnologias da indústria 4.0 tem moldado as transformações da indústria farmacêutica, principalmente em relação à fabricação contínua e digitalização com produção descentralizada, auto-organizada e reconfigurável conectadas a sistemas cyber físicos.	A consideração dos aspectos da sustentabilidade, para além da dimensão puramente econômica, ainda é muito pouco explorada, principalmente no que diz respeito às questões sociais.
Pistikopoulos, Barbosa e Lee (2021)	Process systems engineering – The generation next?	Tecnologias utilizadas em diversas áreas como no ramo farmacêutico. A otimização de processos é considerada um dos principais desafios na área da pesquisa	A sustentabilidade social é um dos principais desafios na área da pesquisa envolvendo o desenvolvimento de medidas e modelos quantitativos para assuntos sem definição física clara como a sustentabilidade social

Argoti, Orjuela e Narváez (2019)	Challenges and opportunities in assessing sustainability during chemical process design	Inserir tecnologias para garantir a sustentabilidade dos processos e atenuar problemáticas como poluição de químicos	A necessidade de incorporar conceitos de sustentabilidade revolucionou a engenharia e a indústria química nas dimensões ambiental, econômica e social. Historicamente as atividades humanas são avaliadas apenas nas esferas econômica e ambiental, negligenciando o social. Dessa forma, é um desafio atual conciliar harmoniosamente, dessa forma é necessário repensar as práticas da engenharia como um <i>Triple Bottom Line</i> (TBT).
Zaki, Khalil e Sabaruddin (2021)	Microbial treatment for nanocellulose extraction from marine algae and its applications as sustainable functional material	A utilização de algas marinhas é aplicada na indústria farmacêutica	Produção de nanocélulas de acordo com as necessidades de se adequar às demandas de sustentabilidade econômica, ambiental e social
Harris et al (2022)	Overview of recent trends in microchannels for heat transfer and thermal management applications	Tecnologia utilizada na indústria farmacêutica	Há potencial de desenvolver sustentabilidade social através da tecnologia de microcanais. Esse processo ocorre através do controle robótico através da interação humana por meio de sensores. Esses avanços tecnológicos futuros promoverão ainda mais a diversidade e a inclusão na força de trabalho industrial, especialmente para pessoas com deficiência - impactando diretamente e aprimorando a sustentabilidade social.
Castro, Costa e Ferreira (2022)	Data Science for Industry 4.0 and Sustainability: A Survey and Analysis Based on Open Data	A indústria farmacêutica foi um dos setores investigados por ser um dos maiores investidores em tecnologia e pesquisa e desenvolvimento	A crescente digitalização e automação de tarefas de negócios e serviços muitas vezes leva a preocupações sobre a substituição permanente da força de trabalho humana por Máquinas. argumentam que a Indústria 4.0 pode gerar perspectivas de emprego ao criar novas oportunidades de emprego em domínios emergentes, como a ciência, a tecnologia, engenharia e matemática. Enquanto os avanços tecnológicos e a automação tendem a minimizar as perspectivas de emprego em alguns setores, eles também trazem a emergência de novas empresas e serviços ligados ao crescimento econômico e a novos mercados, o que leva a um aumento de novas oportunidades de emprego

Clauser <i>et al</i> (2023)	Integrating the new age of bioeconomy and industry 4.0 into biorefinery process design	As novas tecnologias da era da indústria 4.0 são aplicadas no setor da indústria farmacêutica	Sistemas de produção inteligentes e autônomos podem promover um emprego saudável e seguro, assumindo tarefas monótonas e repetitivas, melhorando a satisfação e a motivação dos funcionários. No entanto, as transformações tecnológicas da indústria 4.0 podem trazer muitos desafios e limitações como a preocupação com redução de emprego. Nesse sentido, a indústria 5.0 surgiu recentemente.
Djunaedi (2019)	Building sustainability of pharmaceutical industry 4.0 implementation	O impacto da implantação da sustentabilidade social foi analisado no ramo industrial farmacêutico	A pesquisa realizada da adaptação da indústria 4.0 teve como uma das variáveis dependentes o desempenho da sustentabilidade social. A análise aconteceu através de 3 itens, explorando as relações de serviços intensivos em informação e integração da cadeia de suprimentos com sustentabilidade social na indústria farmacêutica da Tailândia.

Fonte: Autoria própria (2023)

Como foi possível observar, oito artigos que apresentaram alguma caracterização sobre o tema da sustentabilidade social e os impactos na organização em uma empresa, para mitigar os problemas da substituição de mão de obra, relacionado à engenharia química e à indústria farmacêutica.

Dessa forma, percebe-se que para Marques *et al* (2020), durante a caracterização do estado atual da indústria farmacêutica, para a estruturação da tomada de decisão, afirma que o aspecto social está sendo considerado, simultaneamente aos aspectos ambientais e econômicos já consolidados. Entretanto, pontua que ainda assim, o aspecto social é insuficientemente explorado.

Para Pistikopoulos, Barbosa e Lee (2021), a partir da caracterização da utilização de ferramentas computacionais para descrição de comportamentos físico-químicos para otimização de processos em relação à cadeia de suprimentos, como na área farmacêutica, desce a sustentabilidade social como um dos principais desafios da indústria 4.0. Na área da pesquisa, relata que a principal dificuldade está centrada no desenvolvimento de medidas e modelos quantitativos para os vários critérios de interesse, por não apresentar uma definição clara.

Argoti Orjuela e Narváez (2019), ao resumir os desenvolvimentos sobre as métricas de sustentabilidade, pontuam a importância de incorporar a sustentabilidade na realidade industrial. Entretanto, historicamente as atividades humanas são avaliadas apenas nas esferas ambiental e econômica, negligenciando

os aspectos sociais. Dessa forma, ressalta a importância de conciliar harmoniosamente essas três dimensões na engenharia, caracterizando a *Triple Bottom Line* (TBL).

Zaki, Khalil e Sabaruddin (2021), durante estudo sobre a utilização de biopolímeros a partir de algas marinhas, aplicados na indústria farmacêutica, apenas relatam o interesse da indústria global em desenvolver abordagens de produção mais eficientes e limpas que ajudem de forma sustentável os fabricantes de produtos a reduzir impactos ambientais, econômicos e sociais negativos.

Para Harris et al (2022), durante pesquisa sobre as tendências, desenvolvimento e experimentos sobre microcanais para transferência de calor e gerenciamento térmico, tecnologia amplamente utilizada na indústria farmacêutica, destaca-se o potencial de desenvolver a sustentabilidade social através da tecnologia de microcanais. Esse processo ocorre através do controle robótico através da interação humana por meio de sensores, promovendo diversidade e a inclusão na força de trabalho industrial, especialmente para pessoas com deficiência.

Castro, Costa e Ferreira (2023), ao estudarem a temática de indústria 4.0 e sustentabilidade a partir de dados científicos incorporando dados abertos e ferramentas de código aberto para alcançar a Indústria 4.0 sustentável, caracterizaram a área social como negligenciada por pesquisadores e organizações. Argumentam que a Indústria 4.0 pode gerar perspectivas de emprego ao criar oportunidades de emprego em domínios emergentes, como a ciência, a tecnologia, engenharia e matemática. Enquanto os avanços tecnológicos e a automação tendem a minimizar as perspectivas de emprego em alguns setores, eles também trazem o surgimento de novas empresas e serviços ligados ao crescimento econômico e alcance de novos mercados.

Clauser et al (2022) ao desenvolverem estudo para um melhor entendimento de como as ferramentas da nova era da indústria 4.0 pode trazer novas soluções para processos de biorrefinaria em termos de sustentabilidade ambiental, econômica e social, apresentaram que sistemas inteligentes e autônomos podem promover melhor qualidade e segurança ao assumirem tarefas monótonas e repetitivas, atuando diretamente na satisfação e motivação dos funcionários. Entretanto, tais transformações podem promover muitos desafios e limitações, como a redução de empregos, nesse sentido o surgimento da indústria 5.0 pode ser uma alternativa

para solucionar problemas que a indústria 4.0 não foi capaz de contemplar, como a sustentabilidade social.

Djunaedi (2019) ao avaliar o impacto de serviços intensivos em informação sobre o desempenho da sustentabilidade social e o impacto da integração da cadeia de suprimentos no desempenho da sustentabilidade social. A pesquisa realizada teve como objetivo caracterizar a adaptação da indústria 4.0 no ramo industrial farmacêutico da Tailândia para implementar a sustentabilidade social.

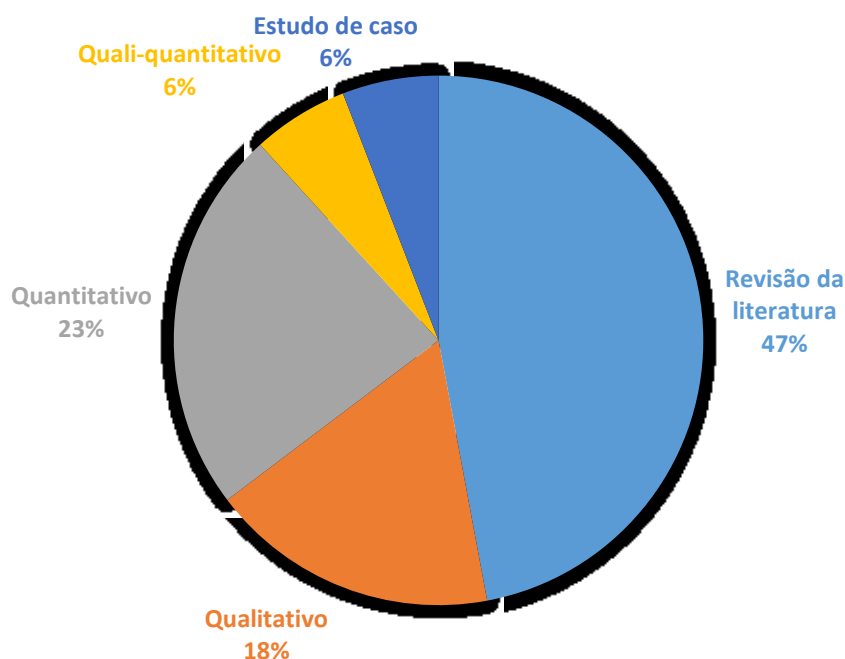
Ao analisar a literatura sistematicamente sob o aspecto da sustentabilidade social, foi possível identificar algumas lacunas e oportunidades que podem ser aproveitadas para melhor caracterização deste cenário, expostas no Quadro 6.

5.2 ANÁLISE DOS MÉTODOS

De acordo com Barbieri, Carvalho e Domenico (2022), para assegurar a confiabilidade de um processo, é preciso que a pesquisa se desenvolva a partir da adoção de um método, a fim de contemplar da melhor forma os problemas da investigação. Assim, a metodologia de uma pesquisa científica pode ser classificada e definida conforme sua abordagem, dividida em qualitativa e quantitativa e procedimentos técnicos empregados, os quais podem assumir o caráter: Experimental, em que um objetivo é definido, assim como variáveis de estudo são definidas e acompanhadas; Revisão de literatura, a qual se baseia em materiais publicados como artigos, livros entre outros; Pesquisa documental, a qual se baseia em estudos que não possuíram um tratamento analítico; Pesquisa de campo, nas quais investigações são realizadas a partir de dados coletados de pessoas; e por fim Estudo de caso, em que fundamenta-se em um estudo profundo de um ou alguns objetos.

Assim, foi possível classificar os artigos selecionados de acordo com os métodos de pesquisa empregados (Figura 2):

Figura 2 – Métodos aplicados nos artigos



Fonte: Autoria própria (2023)

De acordo com o gráfico acima, a maior parte dos estudos analisados consistem em revisão da literatura, a partir de abordagens quantitativas em sua maioria. A abordagem qualitativa também foi observada durante a progressão dos estudos. Estudo de caso também esteve presente entre os artigos selecionados a fim de analisar o cenário tecnológico em um contexto industrial atual.

5.2.1 Método Qualitativo e Revisão Sistemática da Literatura

Clauser *et al* (2022) desenvolveu uma revisão da literatura com objetivo de melhor entendimento da literatura atual à Indústria 4.0, e como suas ferramentas podem solucionar problemáticas envolvendo fatores sociais, econômicos e ambientais. Dessa forma, analisou variáveis que são importantes para a realidade dessa nova era industrial, como tecnologias promissoras para a sustentabilidade, avaliando-a para identificar quais procedimentos são ou não viáveis para conduzir um processo sustentável.

Zaki, Khalil e Sabaruddin (2021) realizou revisão sistemática da literatura qualitativamente para artigos relacionados com produção enzimática de nanocelulose em função da grande demanda por produção sustentável e o potencial da utilização de microalgas como biomateriais.

5.2.2 Método Quantitativo e Revisão Sistemática da Literatura

Argoti, Orjuela e Narváez (2019) desenvolveram um estudo baseado no método quantitativo visando melhor entendimento das métricas para as dimensões da sustentabilidade e sua implementação. Assim, constataram a dificuldade em sua implementação, a qual é melhorada quando decisões preliminares são tomadas, como nas etapas iniciais do projeto, bem como em diversas etapas, quantificando os impactos derivados dos processos. Assim, classificaram o TBL como método quantitativo responsável por atuar nas esferas ambiental, econômica e social da sustentabilidade. Para melhor entendimento dessa realidade, foi desenvolvida uma revisão da literatura envolvendo a temática da Indústria 4.0, aliada à sustentabilidade.

Castro, Costa e Ferreira (2023) desenvolveram uma revisão da literatura através de uma abordagem quantitativa baseada em dados abertos utilizando software *Open Source* para estudar a Indústria 4.0 e as tendências de sustentabilidade.

Marques *et al* (2020) pontuaram os principais desafios da indústria farmacêutica através de uma revisão da literatura, apresentando uma visão abrangente do estado atual da indústria e desenvolvendo pesquisa quantitativa para modelar as incertezas e riscos para a comunidade industrial. Além disso, quantificou-se as melhorias esperadas com base nas publicações de pesquisas disponíveis.

Pistikopoulos, Barbosa e Lee (2021) realizaram uma revisão da literatura dos sistemas de processos por meio de uma avaliação quantitativa dos riscos proporcionados por essa nova era tecnológica.

5.2.3 Método Quali-Quantitativo e Revisão Sistemática da Literatura

Harris *et al* (2022) estruturou uma revisão da literatura qualitativamente a fim de avaliar as principais tendências e impactos da aplicação da tecnologia de microcanais no contexto de produção industrial. As análises qualitativas foram transformadas em resultados quantitativos dos métodos e conjuntos de dados descritos, avaliados, seguidos de uma discussão crítica dos resultados.

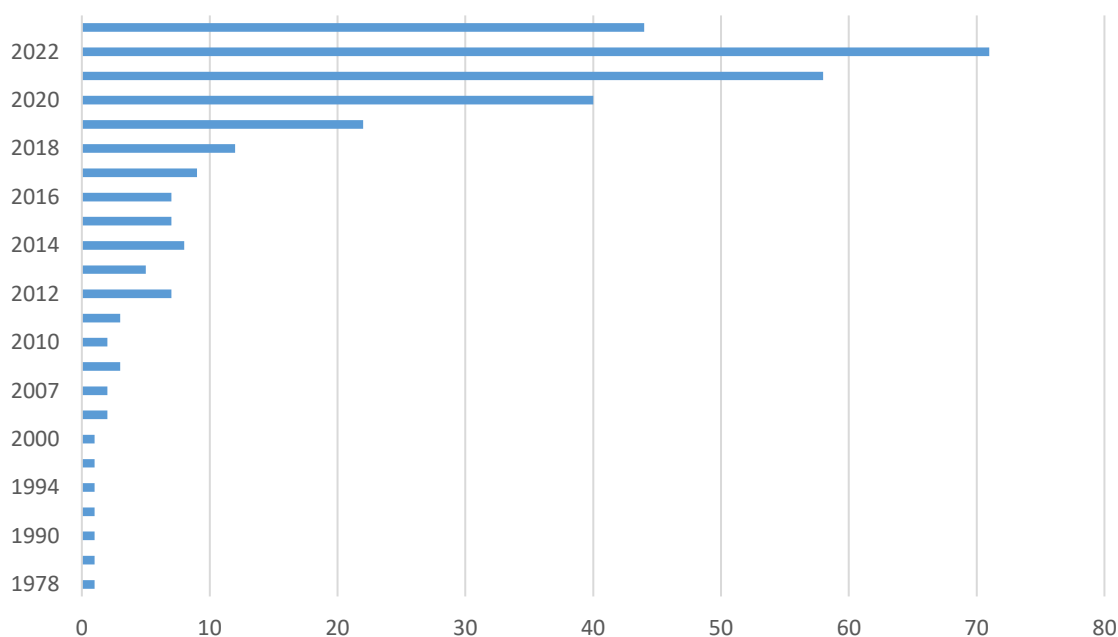
5.2.4 Método Qualitativo, Revisão sistemática da Literatura e Estudo de Caso

Djunaedi (2019) desenvolveu uma revisão da literatura qualitativamente, utilizando a Indústria 4.0 como mediadora para saber a potencialização do que ela causa com os impactos dos serviços intensivos em informação e integração da cadeia de suprimentos no desempenho da sustentabilidade social. A pesquisa seguiu através de um estudo de caso da Indústria Farmacêutica Tailandesa, em que 306 indivíduos compuseram a amostra do estudo.

5.3 ANÁLISE DO ANO DE PUBLICAÇÃO DOS ARTIGOS

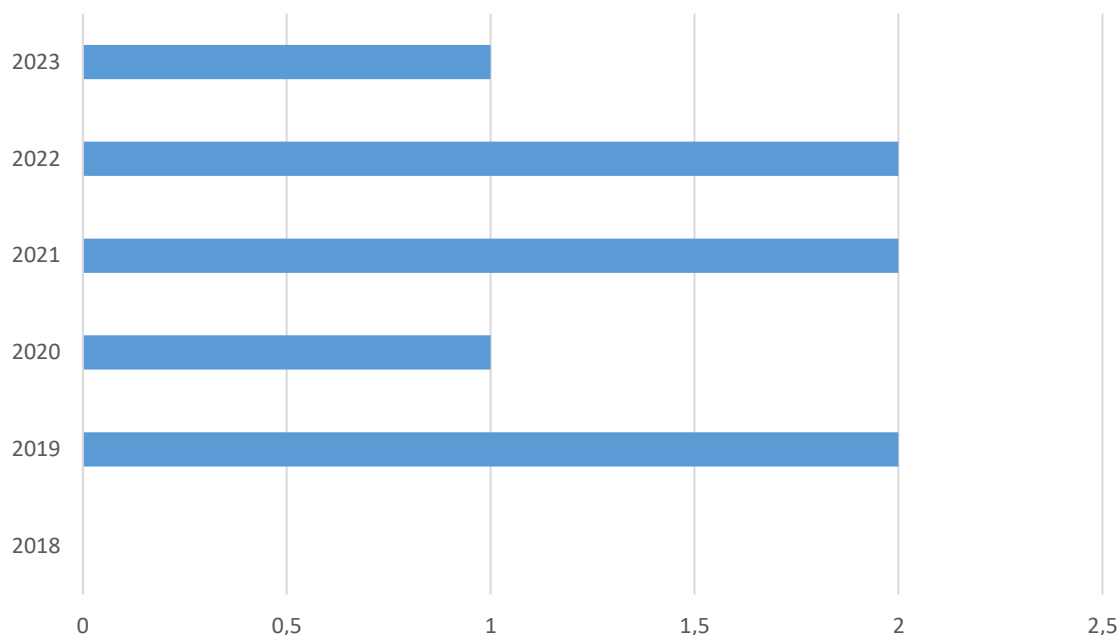
A Figura 3 evidencia as datas de publicação de todo o material publicado, 1515, sobre a temática de sustentabilidade social utilizando as palavras chaves selecionadas.

Figura 3 - Ano de publicação de todo o material publicado a partir de 1978



Fonte: Autoria própria (2023)

Já a Figura 4 ilustra o ano de publicação dos artigos selecionados para análise do conteúdo desenvolvido sobre a temática de sustentabilidade social aplicada à área da indústria farmacêutica.

Figura 4 - Ano de publicação dos artigos analisados

Fonte: Autoria Própria (2023)

Conforme as figuras acima, é possível analisar o aumento de conteúdo desenvolvido sobre a temática de indústria 4.0 a partir do ano 2018. Todos os artigos selecionados para a análise após aplicação do filtro estão presentes na faixa de 2018 a 2023. Isso demonstra o crescimento da preocupação mundial sobre o meio ambiente e a sociedade a partir das práticas econômicas industriais. Assim, oportunidades de otimização e melhorias de processos foram colocadas em pauta sobre seus impactos nessas esferas apontadas. Dessa forma, introduzindo o debate da sustentabilidade, pesquisas e estudos foram desenvolvidos por pesquisadores, universidades e empresas privadas sobre inovações tecnológicas, lacunas e oportunidades sobre essa nova realidade mundial.

5.4 PRINCIPAIS LACUNAS

As principais lacunas encontradas nos artigos analisados a partir da revisão da literatura podem observadas a partir do seguinte Quadro 6:

Quadro 6 - Lacunas existentes na temática de indústria 4.0 e sustentabilidade social

Lacunas existentes
Pobre caracterização do impacto das tecnologias da indústria 4.0 na organização social na indústria farmacêutica.
Há oportunidades interessantes no ramo da pesquisa em desenvolver modelos com base nos dados abertos.
O foco maior na literatura dos últimos cinco anos está centrado na sustentabilidade ambiental em face dos problemas existentes, como os climáticos.
Subaproveitamento de pesquisas que avaliem quais variáveis dependentes estão associadas à temática estudada.

Fonte: Autoria Própria (2023)

A partir da escolha das seguintes palavras-chaves: *Industry 4.0*; *Chemical Engineering*; *Social Sustainability*; *Pharmaceutical Industry*, foi possível construir um cenário em que há um entendimento do impacto negativo da aplicação de tecnologias da indústria 4.0 no processo produtivo. Entretanto, existe uma negligência por parte de pesquisadores e de organizações em considerar essa a sustentabilidade social na tomada de decisão.

Além disso, é possível caracterizar um subaproveitamento da temática por parte de pesquisadores no desenvolvimento de estudos para avaliação das variáveis relacionadas à sustentabilidade social aplicada à área industrial.

Foi possível notar que muitos artigos abordaram a temática social a partir do viés de aceitabilidade das inovações propostas na temática de sustentabilidade, fugindo do tema estudado.

Dessa forma, dos artigos que apresentaram alguma caracterização sobre o tema, foi possível observar estudos apenas pontuando a importância de incorporar a temática de sustentabilidade social na tomada de decisão, artigos de pesquisa sobre o aproveitamento de dados disponíveis para desenvolvimento de modelos quantitativos para caracterização quanto à essa temática, utilização de tecnologias avançadas para geração de empregos a partir do controle através de interação humana, bem como o surgimento de uma nova era industrial a partir da indústria 5.0 para solução desses problemas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A disseminação global da indústria 4.0 sem dúvidas trouxe inúmeros benefícios para diversas organizações, ao promover intensas transformações no campo da automação e digitalização de processos, otimizando produção de forma a obter maior velocidade e precisão, bem como redução de custos. Entretanto, seu extensivo uso despertou preocupações já existentes, porém adormecidas, sobre como a geração de empregos poderia ser afetada com a inserção da robótica no dia a dia industrial. Através da análise sistemática da literatura foi possível observar esse ser uma problemática já notada, porém quando aplicada no ramo da indústria farmacêutica, ainda é pouco explorada. Através dos estudos de grande relevância dada à sustentabilidade ambiental e, quando abordado o aspecto social, esta é apresentada como um dos desafios mais notórios para essa nova Revolução Industrial.

Além disso, por vezes o aspecto social foi associado ao bem-estar e aceitação do consumidor quando apresentada modelos inovadores de produção. Assim, é possível identificar algumas lacunas na literatura atual que podem ser aproveitadas como oportunidade de estudos futuros para um maior enriquecimento não só de bases de dados, como potencial para solucionar problemáticas que assolam a realidade produtiva de forma global.

REFERÊNCIAS

- ARGOTI, A.; ORJUELA, A.; NARVÁEZ, P. C. Challenges and opportunities in assessing sustainability during chemical process design. **Current Opinion in Chemical Engineering**, v. 26, p. 96–103, 2019.
- BELLINI, P.; CENNI, D.; MITOLO, N.; et al. High level control of chemical plant by industry 4.0 solutions. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 26, p. 100276, 2022. Elsevier Inc. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100276>>.
- BARBIERI, B.; CARVALHO, A. P.; DOMENICO, M.; Inovações sustentáveis em biocombustíveis no Brasil e a substituição dos combustíveis fósseis: revisão sistemática da literatura. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.
- BENZIDIA, S.; MAKAOUI, N.; SUBRAMANIAN, N. Impact of ambidexterity of blockchain technology and social factors on new product development: A supply chain and Industry 4.0 perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 169, n. April, p. 120819, 2021. Elsevier Inc. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120819>>.
- BOCKEN, N. M. P.; GERADTS, T. H. J. Barriers and drivers to sustainable business model innovation: Organization design and dynamic capabilities. **Long Range Planning**, v. 53, n. 4, p. 101950, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lrp.2019.101950>>.
- BROZZI, R.; FORTI, D.; RAUCH, E.; MATT, D. T. The advantages of industry 4.0 applications for sustainability: Results from a sample of manufacturing companies. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 9, 2020.
- CAIADO, R.; RANGEL, L. A.; QUELHAS, O. L. G.; NASCIMENTO, D. Metodologia de Revisão Sistemática da Literatura Com Aplicação do Método de Apoio Multicritério à Decisão SMARTER. **Congresso Nacional de Excelência em Gestão e III Inovarse–Responsabilidade Social e Aplicada**, v. 12, p. 1–20, 2016.
- CASTRO, H.; COSTA, F.; FERREIRA, T.; et al. Data Science for Industry 4.0 and Sustainability: A Survey and Analysis Based on Open Data. **Machines**, v. 11, n. 4, 2023.
- CHATTERJEE, S.; RANA, N. P.; DWIVEDI, Y. K.; BAABDULLAH, A. M. Understanding AI adoption in manufacturing and production firms using an integrated TAM-TOE model. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 170, n. November 2020, p. 120880, 2021. Elsevier Inc. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120880>>.
- CHIARELLO, F.; FANTONI, G.; HOGARTH, T.; et al. Towards ESCO 4.0 – Is the European classification of skills in line with Industry 4.0? A text mining approach.

Technological Forecasting and Social Change, v. 173, p. 121177, 2021. Elsevier Inc. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121177>>.

CHUANG, Y. C.; CHEN, Y. M. Digital servitization of symbiotic service composition in product-service systems. **Computers in Industry**, v. 138, p. 103630, 2022. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103630>>.

CLAUSER, N. M.; FELISSIA, F. E.; AREA, M. C.; VALLEJOS, M. E. Integrating the New Age of Bioeconomy and Industry 4.0 into Biorefinery Process Design. **BioResources**, 2022.

DOGARU, L. The main goals of the fourth industrial revolution. Renewable energy perspectives. **Procedia Manufacturing**, v. 46, p. 397–401, 2019. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.058>>.

DJUNAEDI. Building social sustainability of pharmaceutical industry through industry 4.0 implementation. **Polish Journal of Management Studies**, v. 20, n. 1, p. 149–158, 2019.

GAJEK, A.; FABIANO, B.; LAURENT, A.; JENSEN, N. Process safety education of future employee 4.0 in Industry 4.0. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 75, 2022.

GILLANI, F.; CHATHA, K. A.; SADIQ JAJJA, M. S.; FAROOQ, S. Implementation of digital manufacturing technologies: Antecedents and consequences. **International Journal of Production Economics**, v. 229, n. March, p. 107748, 2020. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107748>>.

GUPTA, S.; JUSTY, T.; KAMBOJ, S.; KUMAR, A.; KRISTOFFERSEN, E. Big data and firm marketing performance: Findings from knowledge-based view. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 171, n. July, 2021.

HARRIS, M.; WU, H.; ZHANG, W.; ANGELOPOULOU, A. Overview of recent trends in microchannels for heat transfer and thermal management applications. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 181, n. September, p. 109155, 2022. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cep.2022.109155>>.

IVASCU, L. Measuring the implications of sustainable manufacturing in the context of industry 4.0. **Processes**, v. 8, n. 5, p. 1–20, 2020.

JÚNIOR, H. M.; AMORIM, I. M.; CAVALCANTI, I. T. N.; FRAGA, J. A. Os Desafios da Indústria Farmacêutica no Brasil. 2019. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/036c/10201603d1155c7292aaf03b073f057559bb.pdf>>.

KUO, C. C.; SHYU, J. Z.; DING, K. Industrial revitalization via industry 4.0 – A comparative policy analysis among China, Germany and the USA. **Global Transitions**, v. 1, p. 3–14, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.glt.2018.12.001>>.

MAGALHÃES, R.; VENDRAMINI, A. Os impactos da quarta revolução industrial. **GV-executivo**, v. 17, n. 1, p. 40, 2018.

MARIANI, M. M.; EK STYVEN, M.; TEULON, F. Explaining the intention to use digital personal data stores: An empirical study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 166, n. January, 2021.

MARQUES, C. M.; MONIZ, S.; DE SOUSA, J. P.; BARBOSA-POVOA, A. P.; REKLAITIS, G. Decision-support challenges in the chemical-pharmaceutical industry: Findings and future research directions. **Computers and Chemical Engineering**, v. 134, p. 106672, 2020. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106672>>. .

MICROSOFT AZURE. **O que é computação em nuvem?**. Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-cloud-computing/#uses>>. Acesso em 2022.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN DG. **Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement, 2015**. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742015000200017>>.

PASQUINI, N. C. As Revoluções Industriais: Uma Abordagem Conceitual. **Revista Tecnológica da Fatec Americana**, v. 08, n. 01, p. 29–44, 2014.

PINTO, R. C.; GABRIELA, P.; LOPES, C. Universidade Federal De São Carlos Centro De Ciências Exatas E De Tecnologia Departamento De Engenharia Química a Formação Do Engenheiro Químico No Contexto Da Indústria 4.0, 2020.

PISTIKOPOULOS, E. N.; BARBOSA-POVOA, A.; LEE, J. H.; et al. Process systems engineering – The generation next? **Computers and Chemical Engineering**, v. 147, p. 107252, 2021. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2021.107252>>. .

PRODI, E.; TASSINARI, M.; FERRANNINI, A.; RUBINI, L. Industry 4.0 policy from a sociotechnical perspective: The case of German competence centres. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 175, n. November 2021, p. 121341, 2022. Elsevier Inc. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121341>>.

REISCHAUER, G. Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, n. December 2018, p. 26–33. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.02.012>>.

RODRIGUES, P. H. A.; SILVA, R. D. F. C.; KISS, Catalina. Mudanças recentes e continuidade da dependência tecnológica e econômica na indústria farmacêutica no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 38, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/csp/a/Bg6GKTTTfJKFzKX3SdnFvL/abstract/?lang=pt>>.

SHAH, K.; PATEL, N.; THAKKAR, J.; PATEL, C. Exploring applications of blockchain technology for Industry 4.0. **Materials Today: Proceedings**, 2022. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.681>>.

SHAHATHA AL-MASHHADANI, A. F.; QURESHI, M. I.; HISHAN, S. S.; et al. Towards the development of digital manufacturing ecosystems for sustainable performance: learning from the past two decades of research. **Energies**, v. 14, n. 10, p. 1–17, 2021.

STHEL, J.; LOUREIRO, R. **A engenharia química no contexto da indústria 4.0: estudo de caso em uma usina de etanol**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2018. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/6983>>.

VERMA, P.; KUMAR, V.; DAIM, T.; SHARMA, N. K.; MITTAL, A. Identifying and prioritizing impediments of industry 4.0 to sustainable digital manufacturing: A mixed method approach. **Journal of Cleaner Production**, p. 131639, 2022. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131639>>.

VYAS, S.; GUPTA, S. Blockchain and Industry 4.0 – A study. **Materials Today: Proceedings**, p. 0–4, 2022. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.544>>.

XU, X.; LU, Y.; VOGEL-HEUSER, B.; WANG, L. Industry 4.0 and Industry 5.0— Inception, conception and perception. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 61, n. October, p. 530–535, 2021. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>>.

ZAKI, M.; ABDUL KHALIL, H. P. S.; SABARUDDIN, F. A.; et al. Microbial treatment for nanocellulose extraction from marine algae and its applications as sustainable functional material. **Bioresource Technology Reports**, v. 16, n. August, p. 100811, 2021. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100811>>.