

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

SAMUEL RAFINO DA SILVA

**A INDÚSTRIA 4.0 E SEUS IMPACTOS NA GESTÃO DE
RESÍDUOS.**

**UNIVERSIDADE
FEDERAL
FLUMINENSE**

**VOLTA REDONDA/RJ
2023**

SAMUEL RAFINO DA SILVA

A INDÚSTRIA 4.0 E SEUS IMPACTOS NA GESTÃO DE RESÍDUOS.

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador(a): Prof^ª. Dr^ª. FABIANA SOARES DOS SANTOS.

VOLTA REDONDA/RJ
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica automática - SDC/BEM
Gerada com informações fornecidas pelo autor

D111i Da Silva, Samuel Rafino
A Indústria 4.0 e seus impactos na Gestão de Resíduos /
Samuel Rafino Da Silva. - 2023.
39 f.: il.

Orientador: Fabiana Soares dos Santos.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação)-Universidade
Federal Fluminense, Escola de Engenharia Industrial e
Metalúrgica de Volta Redonda, Volta Redonda, 2023.

1. Indústria 4.0. 2. Revoluções Industriais. 3. Quarta
Revolução Industrial. 4. Gestão de Resíduos Sólidos. 5.
Produção intelectual. I. Santos, Fabiana Soares dos,
orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de
Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda. III.
Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

SAMUEL RAFINO DA SILVA

A INDÚSTRIA 4.0 E SEUS IMPACTOS NA GESTÃO DE RESÍDUOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovado em 28 de novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Fabiana Soares dos Santos

Orientadora: Prof^a. Dr^a Fabiana Soares dos Santos
Universidade Federal Fluminense

Carla Andreia da C. Martins

Dr^a Carla Andreia da Cunha Martins
Universidade Federal Fluminense

Priscila S.N. Mendes

Dr^a Priscila Sousa Nilo Mendes
Universidade Federal Fluminense

Volta Redonda/RJ
2023

RESUMO

O presente estudo visa analisar os possíveis impactos da Indústria 4.0 na Gestão de Resíduos Sólidos, buscando identificar as principais vantagens bem como os desafios dessa relação, através de uma pesquisa bibliográfica com uma abordagem qualitativa. Foi apresentado uma contextualização histórica das Revoluções Industriais até a atual Indústria 4.0, além de estabelecer sua relação com a Gestão de Resíduos Sólidos. Foi identificado nos resultados deste trabalho muitas possibilidades e benefícios da utilização dos conceitos e tecnologias da Quarta Revolução Industrial nos processos industriais bem como na Gestão de Resíduos propriamente dita, entretanto esse processo deverá ser realizado com cautela, pois foram identificados muitos desafios na implementação deste novo modelo de indústria como resistência a mudanças, alto investimento financeiro, mão de obra qualificada, dentre outros.

Palavras-Chave: Indústria 4.0; Revoluções Industriais; Quarta Revolução Industrial; Gestão de Resíduos Sólidos.

ABSTRACT

The present study aims to analyze the possible impacts of Industry 4.0 on Solid Waste Management, seeking to identify the main advantages as well as the challenges of this relationship, through bibliographical research with a qualitative approach. A historical contextualization of the Industrial Revolutions up to the current Industry 4.0 was presented, in addition to establishing its relationship with Solid Waste Management. The results of this work identified many possibilities and benefits of using the concepts and technologies of the Fourth Industrial Revolution in industrial processes as well as in Waste Management itself, however this process must be carried out with caution, as many challenges were identified in the implementation of this new industry model such as resistance to change, high financial investment, qualified labor, among others.

Keywords: Industry 4.0; Industrial Revolutions; Fourth Industrial Revolution; Solid waste management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As Revoluções Industriais.....	9
Figura 2 - Tecnologias da Indústria 4.0.....	12
Figura 3 - Economia Circular.....	20
Figura 4 - Logística Reversa.....	21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais tecnologias da Indústria 4.0 e suas utilidades/benefícios.....	13
Quadro 2 - Tecnologias da Indústria 4.0 na Gestão de Resíduos Sólidos.....	16
Quadro 3 - Empresas que utilizam tecnologia da Indústria 4.0 e seus benefícios para Gestão de Resíduos.....	25

LISTA DE SIGLAS

BCG	Boston Consulting Group
CAD	Computer Aided Design
CPS	Sistemas Ciber-Físicos
DAC	Desenho Assistido por Computador
IA	Inteligência Artificial
IdC	Internet das Coisas
IoS	Internet dos Serviços
IoT	Internet of Things
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RA	Realidade Aumentada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1. OBJETIVOS.....	7
1.1.1. Objetivo geral.....	7
1.1.2. Objetivos específicos.....	7
1.2. JUSTIFICATIVA.....	7
1.3. ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS.....	9
2.1.1. Primeira Revolução Industrial.....	9
2.1.2. Segunda Revolução Industrial.....	10
2.1.3. Terceira Revolução Industrial.....	11
2.2. INDÚSTRIA 4.0.....	11
2.3. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA 4.0.....	15
2.4. INDÚSTRIA 4.0 E ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS DE GESTÃO DE RESÍDUOS.....	19
3. METODOLOGIA.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
4.1. VANTAGENS DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	23
4.2. DESAFIOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	27
5. CONCLUSÕES.....	31
6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

O mundo vem passando por várias mudanças durante o passar do tempo, dentre elas uma em destaque são as chamadas Revoluções Industriais. Até o presente momento, a sociedade passou por três revoluções, tendo atualmente a quarta em desenvolvimento. A primeira revolução deu início a partir de aproximadamente 1760, marcada pela substituição da produção artesanal pela industrial. Em seguida veio a segunda revolução onde se desenvolveu por exemplo, a eletricidade, a máquina a vapor e a produção em massa. A terceira é caracterizada principalmente pela expansão das comunicações, implementação do computador e ampliação do acesso à internet. Por fim, a quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, que se encontra em percurso nos dias atuais (AMAYA, 2017). Essas mudanças trouxeram grandes impactos em várias áreas da sociedade, dentre elas a ambiental, foco deste trabalho.

A Indústria 4.0 nasceu na Alemanha e foi difundida para os demais países posteriormente. Esta revolução vem trazendo inovações tecnológicas como a automação industrial, a padronização e otimização do maquinário e a implementação de tecnologias como Internet of Things (IoT), Inteligência Artificial (IA) e Impressoras 3D, com objetivo de tornar os ambientes fabris cada vez mais inteligentes (ALBINO, 2021).

Diante dessas mudanças, a produção e o consumo elevados, aliado ao crescimento populacional, gera um grande desafio para a gestão de resíduos. Estes, por sua vez, possuem denominações, naturezas e composições diversas e a responsabilidade na gestão desses diferentes tipos de resíduos é definida por legislação específica, no caso do Brasil na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº12.305, de 2010. Além disso, essa norma aborda sobre diferentes sistemas de coleta, tratamento e disposição final dos mesmos (JACOBI e BESEN, 2011).

Desta forma, surge a indagação de como a Indústria 4.0 pode impactar a Gestão de Resíduos Sólidos e se esses possíveis impactos serão positivos e/ou negativos em relação ao meio ambiente.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Analisar os principais impactos da Indústria 4.0 na Gestão de Resíduos Sólidos.

1.1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Avaliar as vantagens da Indústria 4.0 na Gestão de Resíduos Sólidos;
- Avaliar os desafios da Indústria 4.0 na Gestão de Resíduos Sólidos.

1.2. JUSTIFICATIVA

Segundo Jacobi e Besen (2011), o tema Gestão de Resíduos tem ganhado força mundialmente a partir da Conferência Rio 92, tendo em vista seus impactos no meio ambiente. É fundamental a correta disposição final destes resíduos produzidos, a fim de reduzir impactos socioambientais como a degradação do solo, poluição do ar e dos corpos hídricos, proliferação de vetores de doenças, agravamento de enchentes, dentre outros causados pelo descarte inadequado.

Neste contexto, surgem novas tecnologias com o desenrolar da Quarta Revolução Industrial que podem ser utilizadas para reduzir o consumo de energia, a geração de resíduos e o uso de recursos naturais, mas, ao mesmo tempo, ao reduzir os custos de produção e distribuição poderá gerar um aumento do consumo, trazendo consequências negativas ao meio ambiente, inclusive no aumento da produção de resíduos, além de desafios a serem enfrentados em sua implementação (MAGALHÃES; VENDRAMINI, 2018).

Desta forma, torna-se imprescindível o estudo da INDÚSTRIA 4.0 e suas possíveis oportunidades/ameaças em relação a gestão de resíduos, para que com base neste estudo possa ser criado planos governamentais que minimizem as possíveis ameaças e aproveitem seus aspectos positivos em prol do meio ambiente.

1.3. ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Este trabalho de conclusão de curso tem como primeiro tópico a Introdução, onde apresentamos o tema do trabalho, o problema de pesquisa, os objetivos geral e específicos e também a justificativa de pesquisa.

O segundo tópico tratou do referencial teórico onde foi desenvolvido o embasamento teórico do tema, com uma revisão atualizada das pesquisas e discussões dos autores utilizados

como referência deste trabalho sobre o assunto, subdividido em “Revoluções Industriais”, onde foi apresentado um contexto histórico das três primeiras Revoluções Industriais, seguido por “Indústria 4.0” explanando sobre a Quarta Revolução Industrial separadamente e abordando suas principais características. Por fim, em “Gestão de Resíduos Sólidos na Indústria 4.0”, foi analisada a relação entre os dois conceitos.

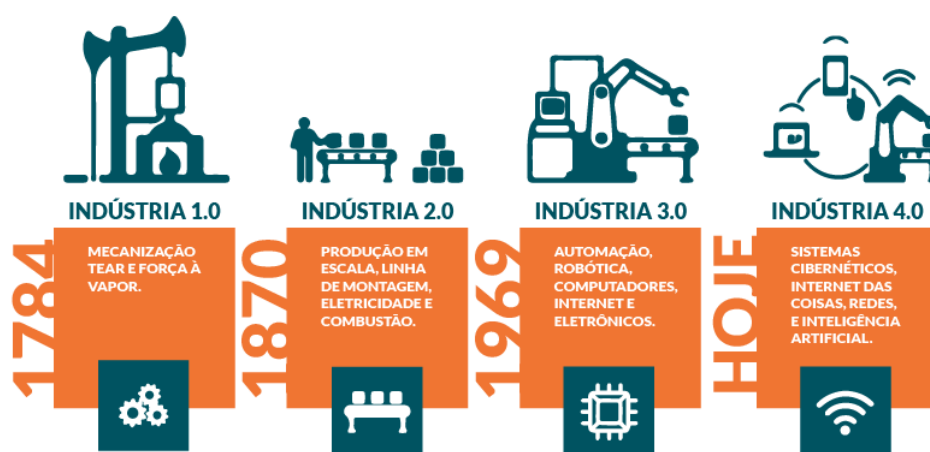
No terceiro tópico, discutimos a metodologia utilizada nesta pesquisa, seguida dos resultados e discussões. Por fim, apresentamos as conclusões deste trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

As Revoluções Industriais marcaram momentos de transformação significativa na história da humanidade. Desde a Primeira Revolução Industrial, ocorrida na Inglaterra entre 1760 e 1860, até a Indústria 4.0, que emergiu no século XXI, cada uma dessas revoluções impulsionaram avanços tecnológicos, novas fontes de energia, máquinas e técnicas de produção conforme apresentado na figura 1 (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

Figura 1 - As Revoluções Industriais.



Fonte: CITISYSTEMS (2016)

2.1.1. Primeira Revolução Industrial

A Primeira Revolução Industrial ou Indústria 1.0 teve origem na Inglaterra, entre 1760 e 1860 e posteriormente foi difundida para os demais países. Marcada por grandes desenvolvimentos, principalmente no setor produtivo e no transporte, um destaque é a utilização do carvão como fonte de energia de máquinas a vapor, que tem como principal precursor de seu desenvolvimento a figura de James Watt. Esta tecnologia foi inicialmente utilizada na indústria têxtil e logo foi estendida a outros setores como as locomotivas no setor de transporte (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

Anteriormente a essa revolução, no início do século XVIII, a Inglaterra tinha como características a produção artesanal, caseira e descentralizada, havendo diversas unidades produtivas independentes (SANTOS; ARAÚJO, 2018). Por consequência, a capacidade produtiva neste período era baixa para acompanhar o aumento da população. Segundo Santos e Araújo (2018) o contingente populacional mundial aumentou de 600 milhões por volta de

1750 para aproximadamente 1.200 milhões em 1850, nesse período a população na Inglaterra quase triplicou. Esta baixa produtividade também não era vantajosa para o ponto de vista de um regime capitalista, que vinha surgindo nesta época com a revolução comercial (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

Além disso, o fenômeno de “despejo rural” e expropriação de terras resultantes da segunda revolução agrícola no século XVIII contribuíram para o surgimento de uma mão-de-obra mais acessível nas áreas urbanas. O avanço tecnológico, destacado pela invenção da lançadeira volante de tecelagem em 1733 por John Kay, o aperfeiçoamento da máquina a vapor em 1767 por James Watt e o desenvolvimento das máquinas de fiar entre 1767 e 1800, foram elementos cruciais que culminaram na eclosão da 1ª Revolução Industrial (SANTOS; ARAÚJO, 2018).

Os processos industriais continuaram a se desenvolver, dando início a 2ª Revolução Industrial.

2.1.2. Segunda Revolução Industrial

A era da Indústria 2.0 tem início em 1870, impulsionada por desenvolvimentos tecnológicos e descobertas como a eletricidade, a liga metálica ferro-carbono denominada aço, além do progresso e refinamento dos meios de transporte, comunicação, indústria química, dentre outros setores (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

Conforme Sakurai e Zuchi (2018) destacam, a ênfase desta revolução recaiu na especialização do trabalho e no aumento da capacidade produtiva e dos lucros. Neste contexto, surge o Fordismo, termo criado por Henry Ford em 1914, que é baseado em sistemas de produção em massa. Cabe destacar que, no mesmo ano, Ford foi pioneiro ao introduzir a linha de montagem automatizada por esteiras rolantes.

Além da mudança nos processos produtivos introduzidos por Ford, um outro grande marco na Segunda Revolução Industrial foi a implementação dos novos métodos de trabalho industrial, desenvolvidos por Frederick Taylor. Esses métodos intensificaram o controle sobre os trabalhadores, excluindo-os das decisões relacionadas ao trabalho (MIRANDA, 2022). Segundo Ribeiro (2015), o Taylorismo baseia-se em métodos experimentais de trabalho e implementação de regras e padrões com objetivo de aprimorar a eficiência dos movimentos do trabalhador em relação ao tempo, deixando o controle desse processo a cargo da gerência da empresa.

A Segunda Guerra Mundial desempenhou um papel crucial no impulsionamento do fordismo-taylorismo, uma vez que os Estados Unidos requeriam uma produção em larga

escala de produtos padronizados para atender às demandas de guerra. Assim, este novo modelo de Indústria foi fundamental para o atingimento destes objetivos, resultando, consequentemente, em substanciais lucros para essas empresas (MIRANDA, 2022).

2.1.3. Terceira Revolução Industrial

Em meio ao contexto do fim da Segunda Guerra Mundial, da predominância capitalista e do modelo de produção fordista-taylorista desenvolvido na Segunda Revolução Industrial, o Japão, país derrotado na Segunda Guerra Mundial, desenvolvia novas estratégias produtivas e tecnológicas para sobressair no mercado internacional, frente à liderança dos EUA. Dessa forma, a partir de 1960 o país oriental investe maciçamente no avanço da tecnologia de seus produtos e na introdução desta tecnologia também em seus sistemas produtivos, dando início assim à Terceira Revolução Industrial (MIRANDA, 2022).

A Indústria 3.0 ou Revolução Técnico-Científica e Informacional tem como principal marco as inovações tecnológicas desenvolvidas no século XX e XXI em campos como o das telecomunicações, informática, biotecnologia, transportes, química e nanotecnologia. Além disso, outro fato importante foi o aumento da diversificação de fontes de energia e uma maior preocupação com temas relacionados à preservação do meio ambiente e ampliação dos direitos trabalhistas (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

O modelo fordista, por sua baixa flexibilidade e alto custo produtivo ficou para trás frente ao novo modelo de indústria. A implementação da microeletrônica e o avanço das telecomunicações permitiu grandes melhorias na qualidade do produto, eficiência produtiva, além de diminuição dos custos de produção (JÚNIOR, 2000).

Desta forma, os avanços tecnológicos significativos e as mudanças de paradigma da Terceira Revolução Industrial estabeleceram as bases fundamentais para o surgimento da Indústria 4.0.

2.2. INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 surgiu em 2011 por Klaus Schwab na Feira de Hannover que ocorreu na Alemanha, ganhando repercussão global. Esta revolução além de englobar as tecnologias já desenvolvidas na Indústria 3.0, dá origem a novas como a Inteligência Artificial, *Internet of Things* ou Internet das Coisas (IdC), computadores quânticos, realidade virtual, impressora 3D entre outras como mostra a figura 2 (MIRANDA, 2022).

Figura 2 - Tecnologias da Indústria 4.0



Fonte: TECNICON (2022)

Esta Revolução Industrial possui certas particularidades frente às anteriores. A primeira diferença está em sua alta velocidade de mudança, segundo Miranda (2022) sua evolução se dá de modo exponencial, enquanto as demais ocorreram de forma linear. Outra característica importante dessas novas tecnologias é sua abrangência, ao contrário da Terceira Revolução Industrial que era possível observar o avanço basicamente apenas no meio digital, a Indústria 4.0 engloba, além deste, o meio físico e biológico. Como exemplo de cada meio se destaca no digital o desenvolvimento da IoT, no físico a automação e robótica avançada e por fim no meio biológico o estudo e avanços no campo da genética (AMAYA, 2017).

As mudanças na indústria para esta nova modalidade, principalmente em países em desenvolvimento, ainda são muito lentas e gradativas. O Brasil por exemplo possui muitas empresas ainda em transição para a Indústria 3.0, além disso a falta de conhecimento e a resistência às mudanças trazidas pela Indústria 4.0 dificultam ainda mais sua implantação. (SAKURAI; ZUCHI, 2018). Teixeira et. al. (2019) afirmam que o Brasil necessita inicialmente de uma melhor divulgação desses novos conceitos, expondo seus benefícios e importância para manutenção da competitividade dessas empresas, entretanto os autores pontuam que o país já possui alguns exemplos do uso de tais tecnologias na produção industrial “tais como sistemas modernos de gestão, a automação eletrônica de processos produtivos e robotização, a comunicação móvel, sensores e atuadores etc.” (TEIXEIRA et. al., 2019, p. 28305).

Santos, Manhães e Lima (2018) expõem ainda algumas empresas brasileiras bem sucedidas na implantação da Indústria 4.0, dentre elas se destacam a Electrolux em Curitiba e

a Volkswagen em São Bernardo do Campo que utilizam realidade virtual na produção de seus produtos, a Vale que introduziu tecnologias como digitalização de processos e IA, a Ambev automatizou o sistema de refrigeração de suas bebidas com finalidade de redução de utilização de energia, além da Ford e Mercedes-Benz com a utilização de impressoras 3D na produção de peças automotivas.

Segundo Albertin et al (2017) as principais tecnologias que servem como pilares na Indústria 4.0, são “[...] internet das coisas, realidade aumentada, robôs autônomos, simulação, manufatura aditiva, *big data*, a tecnologia de nuvem, *cybersecurity* e integração horizontal e vertical de sistemas e *softwares*. [...]” (ALBERTIN et al., 2017, p. 3-4). Tais tecnologias foram definidas e exemplificadas através de suas possíveis utilidades e/ou benefícios apresentados no quadro 1.

Quadro 1 - Principais tecnologias da Indústria 4.0 e suas utilidades/benefícios

Tecnologia	Definição	Utilidades/Benefícios
Internet das Coisas	Integração do meio real e virtual através da conexão a internet, sensores, atuadores e aparelhos eletrônicos, permitindo coleta de informações e otimização da interatividade entre o ser humano, “coisas” e “objetos”.	Utilização em setores como o Industrial, Transporte, Comércio e Saúde, além da possibilidade de construção de cidades inteligentes.
Realidade Aumentada (RA)	Possibilita a sobreposição de elementos virtuais no mundo real.	Construção de postos de trabalho interativos e auxílio em processos como manutenção, treinamentos, gestão da qualidade e de risco, logística, entre outros.
Robôs Autônomos	São máquinas inteligentes com capacidade de realizar atividades independentes da atuação direta do ser humano.	Utilizados principalmente na automação das linhas de montagem.
Simulação	Representação de processos reais de forma virtual, possibilitando a extração de dados e realização de inferências sobre as especificidades do procedimento representado.	Suporte à tomada de decisão, ferramenta útil no desenvolvimento de produtos, gestão de qualidade e melhoria de processos.
Manufatura Aditiva	Técnica automatizada que permite converter Desenho Assistido por Computador (DAC) ou <i>Computer Aided Design</i> (CAD) diretamente em objetos reais através de tecnologias como a Impressora 3D.	Redução do tempo de desenvolvimento de produtos com menor custo e mais valor agregado, além de permitir sua customização de acordo com o desejo do cliente.
<i>Big Data</i>	Envolve a coleta e análise de enormes quantidades de dados de diversas fontes.	Otimização da produção e auxilia na tomada de decisão.
Armazenamento em Nuvem	Serviços de armazenamento de dados com utilização de servidores remotos.	Redução de custos, maior disponibilidade dos dados além de facilitar seu compartilhamento.
<i>Cybersecurity</i>	Mecanismos de segurança digital.	Manter a integridade dos dados e sistemas no ambiente digital.
Integração horizontal e vertical de Sistemas e <i>Softwares</i>	Integração de sistemas de TI para apoio e implementação de processos (horizontal) ou nos diferentes níveis hierárquicos (vertical) do sistema produtivo.	Gera uma maior flexibilidade à empresa, permitindo adaptar-se e reagir mais rapidamente a situações imprevistas.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de Albertin et al. (2017, p. 4-10).

Contudo, cabe ressaltar que as mudanças trazidas por essa nova Revolução Industrial são também alvos de grande preocupação por parte dos pesquisadores quanto às consequências e impactos sobre questões socioambientais, éticas, culturais, etc. De acordo com Sousa (2022) a Indústria 4.0 poderá gerar desemprego de mão de obra não qualificada, intensificação da desigualdade social, riscos de vazamento de informações e de dados pessoais por meio de ataques cibernéticos, além de possível aumento na exploração de recursos naturais e na produção de resíduos.

Graglia e Lazzareschi (2018) afirmam que a Inteligência Artificial, os Robôs Autônomos, dentre outras tecnologias desenvolvidas na Indústria 4.0 podem substituir empregos que demandem de menor grau de qualificação, os autores expõem alguns exemplos como:

Os avanços nas interfaces de usuário, por exemplo, já permitem que computadores respondam com mais eficiência aos pedidos de clientes, reduzindo a necessidade de intervenção humana em algumas atividades de atendimento e serviços. Com a expansão da capacidade dos computadores, tarefas que já foram consideradas muito complexas para serem codificadas estão sendo convertidas em problemas bem definidos tratáveis através de soluções digitais (GRAGLIA; LAZZARESCHI, 2018, p. 3).

Como já mencionado anteriormente, o objetivo da IoT, uma das principais tecnologias desta nova Revolução Industrial é interligar sistemas inteligentes e para isso depende de acesso ininterrupto às redes, gerando troca de dados e informações constantemente. Segundo Martins, Carneiro e Mergulhão (2023) essa exposição, trazida por essa e outras tecnologias da Indústria 4.0, intensifica a vulnerabilidade a ataques cibernéticos, afetando a segurança dessas informações. Os autores afirmam que “a chegada da Indústria 4.0 aumenta o fluxo de informação gradativamente, surgindo então, uma necessidade maior de segurança da informação, uma vez, que se trata de um ativo valioso para a organização realizar suas operações” (MARTINS; CARNEIRO; MERGULHÃO, 2023, p. 1080).

Após a exploração dos conceitos e tecnologias fundamentais que caracterizam a Indústria 4.0, juntamente com sua perspectiva de promover avanços em eficiência, flexibilidade, produtividade e outros atributos, bem como considerar as preocupações associadas à sua implementação, torna-se pertinente analisar a conexão entre esta Revolução Industrial e a Gestão de Resíduos Sólidos. Este próximo passo consiste em destacar não apenas os benefícios potenciais, mas também os desafios encontrados nessa relação.

2.3. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA 4.0

Resíduos para Martinho e Gonçalves (2000, p. 13) são “[...] *qualsquer substâncias ou objectos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou obrigação de se desfazer* [...] ou então, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), lei brasileira que dispõe os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para gestão e gerenciamento de resíduos, define os resíduos sólidos como:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na

rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p. 2).

A temática de Gestão de Resíduos Sólidos é um assunto presente há muito tempo na história da humanidade. Seu início é marcado principalmente com a substituição da forma de vida nômade pela sedentária. Antigas civilizações na Idade do Bronze possuíam a prática de enterrar seus resíduos próximos às suas casas ou até mesmo lançar restos de alimentos nas ruas para alimentar os animais. Essas e outras práticas ainda rudimentares de gestão de resíduos, desencadeou diversos problemas para o ser humano, dentre elas um dos mais graves episódios se deu no século XIV, denominada Peste Bubônica, doença que dizimou metade da população Europeia. (MARTINHO; GONÇALVES, 2000).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados no Brasil, visando a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado de resíduos sólidos. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), instituído pelo Decreto Federal nº 11.043, de 13 de abril de 2022, é um importante instrumento da PNRS, e traz as diretrizes, metas, estratégias e ações para modernizar a gestão de resíduos sólidos no País, de forma a colocar em prática as disposições constantes da Lei (BRASIL, 2022).

De acordo com a PNRS, Gestão Integrada de Resíduos Sólidos é o conjunto de ações com o objetivo de encontrar soluções para o correto tratamento dos Resíduos Sólidos gerados pela população, levando em conta aspectos políticos, econômicos, ambientais, culturais e sociais (BRASIL, 2010).

O advento da Indústria 4.0 e suas inovações têm impulsionado a exploração de novas perspectivas e aplicações em diversos setores, dentre eles a Gestão de Resíduos Sólidos. Em um estudo conduzido por Santos, Lima e Borges (2021), foram destacados alguns exemplos da incorporação de tecnologias da Indústria 4.0 nesse contexto, as quais podem impactar positivamente a forma de lidar com os Resíduos Sólidos (Quadro 2). Essas implementações sugerem possibilidades capazes de otimizar significativamente a coleta, triagem, tratamento e reciclagem de resíduos sólidos.

Quadro 2 - Tecnologias da Indústria 4.0 na Gestão de Resíduos Sólidos.

Utilização na G.R.	Tecnologias empregadas	Oportunidades
Coletar, armazenar e analisar dados de volume de resíduos produzidos e fazer projeções.	<i>Big data analytics</i> e Inteligência Artificial.	Auxiliar na tomada de decisões e planejamento de gestão de resíduos através dos dados coletados e obter previsões que possam antever as demandas e consequentemente prever necessidade de investimento em novas infraestruturas para tratamento dos resíduos como a construção de novos aterros sanitários.
Coleta automatizada de resíduos atrelada a utilização de lixeiras inteligentes.	IoT, Internet dos Serviços (IoS) e Computação em Nuvem.	Através da introdução de sensores nas lixeiras é possível identificar o nível em tempo real do volume de lixo, desta forma a coleta é otimizada, gerando rotas de coleta mais eficientes, reduzindo perda de tempo e consumo desnecessário de combustível, consequentemente gerando redução de emissão de gases poluentes, além de evitar superlotação das lixeiras, facilitar processos de reciclagem e de separação dos resíduos para uma correta destinação final.
Monitoramento de aterros sanitários.	Sistemas Ciber-Físicos (CPS).	Drones automatizados equipados de câmeras e sensores podem ser utilizados para monitoramento seguro e eficiente dos aterros sanitários, indicando informações como lotação ou vazamento de gases.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de Santos; Lima; Borges (2021, p. 55-56).

Entretanto, os autores chamam a atenção que para a implementação de tais tecnologias na área de Gestão de Resíduos se faz necessário um grande investimento em recursos técnicos e financeiros, tornando um desafio, principalmente municípios pequenos.

A Quarta Revolução Industrial não apenas introduziu inovações tecnológicas significativas, mas também provocou transformações no comportamento e nas percepções da sociedade, inclusive no que se refere ao consumo. Nesse cenário, emerge um novo tipo de consumidor, conhecido como Consumidor 4.0. De acordo com Costa et al. (2020), esse perfil apresenta as seguintes características:

1. Autonomia: O Consumidor 4.0 valoriza sua autonomia e capacidade de voz no ambiente online. Ele deseja tomar suas próprias decisões e não depender excessivamente de terceiros para realizar suas compras e transações.
2. Conexão: Este tipo de consumidor está altamente conectado, seja com outras pessoas ou com a internet. Ele troca informações, ideias e experiências com facilidade, o que o torna parte de uma rede de consumidores conectados.

3. Comodidade: O Consumidor 4.0 busca comodidade em suas atividades de compra. Ele prefere realizar transações, compras de produtos e serviços, transações bancárias e pagamentos de contas online, eliminando a necessidade de sair de casa para realizar essas tarefas.
4. Agilidade: A agilidade é fundamental para conquistar o Consumidor 4.0. Ele valoriza a velocidade e facilidade em todas as etapas do processo, desde a pesquisa de produtos até a finalização da compra. A rapidez nas operações online é crucial para atender às suas expectativas.
5. Instantaneidade: Este consumidor é marcado por sua necessidade de respostas e operações instantâneas. Ele espera que informações e serviços estejam disponíveis online em um curto período de tempo, e é pouco propenso a esperar ou lidar com processos demorados.

Adicionalmente, o Consumidor 4.0, passou a monitorar de perto o processo produtivo, demandando responsabilidade e comprometimento social e ambiental por parte das empresas. Além disso, a busca por produtos cada vez mais específicos destaca-se como um aspecto marcante deste novo modelo de consumo. Cabe destacar que tais características são desdobramentos das transformações trazidas pela Indústria 4.0, caracterizada por sua flexibilidade e capacidade de produção sob demanda. (FISCILETTI; DE MATOS; COSTA JUNIOR, 2020).

Apesar dos aspectos positivos que a Quarta Revolução Industrial apresenta, tais mudanças trazem grandes preocupações não só no âmbito econômico, social e ético, mas também na questão ambiental (MAGALHÃES; VENDRAMINI, 2018). Conforme destacado por Silva Sampaio e Vilas Boas (2020), o avanço tecnológico é um dos impulsionadores que tem modificado significativamente os padrões de consumo na sociedade. Esse fenômeno tem resultado em um substancial aumento na geração de Resíduos Sólidos, tornando a gestão desses resíduos um desafio ainda mais complexo e premente para a contemporaneidade.

Amaya (2017) destaca de maneira contundente que o aumento substancial na capacidade produtiva e a significativa redução dos custos de produção, impulsionados pelos avanços tecnológicos, resultaram em um notável aumento no poder de consumo da sociedade, Schwab (2016, p. 25) afirma: “também consigo enxergar que a quarta revolução industrial permite que muitas pessoas consumam mais por um preço menor”.

Essa crescente capacidade de compra, por sua vez, tem como efeito colateral o aumento da demanda por produtos e, conseqüentemente, uma maior extração de recursos naturais. Esse

processo intensificado de extração, por sua vez, culmina na geração proporcionalmente maior de resíduos.

A relação intrínseca entre o desenvolvimento tecnológico, o consumo e a geração de resíduos evoca a importância de abordagens sustentáveis. Gonçalves (2019), no contexto da Indústria 4.0 expõe que “para compensar toda essa tecnologia, as empresas deverão se preocupar ainda mais com a questão ambiental, com o uso de recursos naturais e serem muito mais sustentáveis” (GONÇALVES, 2019, p. 29).

Como estratégias para mitigar os possíveis impactos negativos decorrentes dessa nova Revolução Industrial serão apresentadas a filosofia Lixo Zero, a Economia Circular, a Logística Reversa e a gestão eficiente de resíduos.

2.4. INDÚSTRIA 4.0 E ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS DE GESTÃO DE RESÍDUOS

Como estratégia para minimizar tais impactos, surge a filosofia denominada de Lixo Zero, que possui como precursora de sua disseminação no Brasil o Instituto Lixo Zero Brasil, segundo eles, "O CONCEITO LIXO ZERO consiste no máximo aproveitamento e correto encaminhamento dos resíduos recicláveis e orgânicos e a redução – ou mesmo o fim – do encaminhamento destes materiais para os aterros sanitários e/ou para a incineração" (INSTITUTO LIXO ZERO BRASIL, 2010).

Padilha (2019) ainda o apresenta como um "conceito de vida, no qual os indivíduos passam a refletir e obter a conscientização dos caminhos e finalidades de seus resíduos antes de descartá-los" (PADILHA, 2019, p.18).

A implementação de seus conceitos vêm apresentando resultados surpreendentes em vários países, como é o caso de São Francisco nos EUA. Segundo Zanetti et al. (2022), após adoção desta filosofia, reduziu-se 90% dos resíduos destinados aos aterros e incineradores. Outro exemplo é a cidade de Campannori na Itália. "Campannori reduziu em 40% a produção per capita de resíduos e se tornou um exemplo internacional. Inspirados pelo seu sucesso, hoje cerca de 400 municípios europeus caminham para o Lixo Zero" (ZANETTI et al., 2022, p.8).

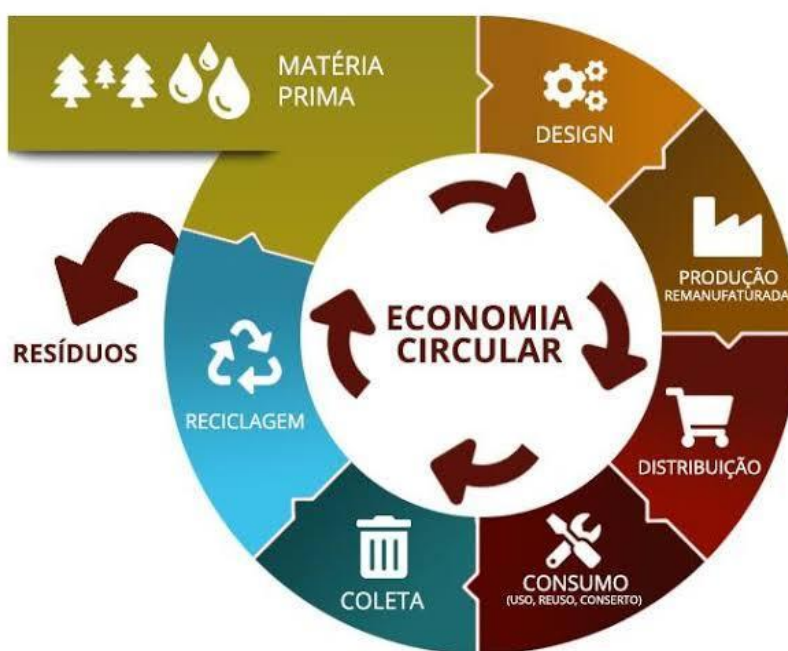
A cidade implantou estratégias como imposição de tarifa sobre o lixo produzido, campanhas de conscientização da população quanto a importância da correta destinação dos resíduos e também criou centros de venda e/ou doação de produtos como roupas, móveis e brinquedos que estejam em bom estados ou que possam ser restaurados, prolongando seu ciclo de vida (ZANETTI et. al., 2022).

Fisciletti, de Matos e Costa Junior (2020) apresentam ainda no contexto da Indústria 4.0, a Economia Circular, a Logística Reversa e as práticas ecoeficientes para o tratamento de resíduos, estratégias importantes para permitir uma gestão adequada de resíduos.

Segundo Monteiro (2018, p. 03), “Economia Circular é um conceito estratégico que assenta na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia”. Surge como uma alternativa ao modelo linear, que se baseia apenas no ciclo de vida do produto, desde a extração do recurso para sua produção até sua eliminação.

A Economia Circular, por sua vez, conforme ilustrado na figura 3, não se restringe à gestão dos resíduos ou reciclagem, abrangendo métodos eficazes para reduzir a extração de recursos naturais, como a reutilização máxima da matéria-prima e ajustes no produto ou no processo produtivo para torná-los mais sustentáveis (MONTEIRO, 2018).

Figura 3 - Economia Circular



Fonte: GAUCHAZH (2022)

Segundo Fisciletti, Dias e Paixão (2023), a Economia Circular é baseada no reconhecimento da finitude dos recursos naturais, tendo como princípio central a otimização da utilização desses recursos. Os autores destacam que, apesar dos benefícios evidentes da economia circular, as práticas associadas a essa abordagem ainda são insuficientemente adotadas em âmbito global.

A logística é o serviço que disponibiliza o produto final de uma empresa para o cliente, seja por intermédio de uma distribuidora ou pela entrega na porta de sua casa. A Logística Reversa, por sua vez, é o retorno deste produto, após findar seu ciclo de vida às

empresas, para sua reutilização ou reciclagem (Figura 4), diminuindo a necessidade de extração de novos recursos da natureza, além de evitar uma possível disposição final incorreta deste resíduo.

Um exemplo comum desta estratégia são as embalagens retornáveis de refrigerante, que podem ser higienizadas e preenchidas novamente com a bebida, comercializadas e assim por diante (SHIBAO; MOORI; SANTOS, 2010).

Figura 4 - Logística Reversa



Fonte: MAPLINK (2019)

Segundo Sisinnio e Moreira (2005) a Ecoeficiência é a capacidade de produzir bens e serviços visando o menor impacto ambiental possível e ao mesmo tempo manter os custos compatíveis com o mercado. Os autores afirmam:

“As empresas ecoeficientes são aquelas que conseguem benefícios econômicos – rapidez em seus processos e qualidade de seus produtos, com redução nos custos associados aos desperdícios de água, energia e materiais – à medida que alcançam benefícios ambientais por meio da redução progressiva da geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas, inserindo em seu processo gerencial o conceito de prevenção da poluição e de riscos ocupacionais” (SISINNO; MOREIRA, 2005, p. 1894).

3. METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de uma análise crítica da relação entre a Indústria 4.0 e a Gestão de Resíduos Sólidos, sendo feita por meio de pesquisa bibliográfica em uma abordagem qualitativa.

O objetivo deste trabalho é reunir parte dos conhecimentos disponíveis sobre o tema Indústria 4.0 e Gestão de Resíduos Sólidos e desta forma responder o seguinte problema de pesquisa: “ Como a Indústria 4.0 pode impactar a Gestão de Resíduos Sólidos”, utilizando como mecanismo de consulta o Google Acadêmico e a base de dados Periódicos Capes.

As palavras chaves utilizadas nas pesquisas foram: “Indústria 4.0”, “Revoluções Industriais”, “Quarta Revolução Industrial” e “Gestão de Resíduos Sólidos”. Com base nos resultados encontrados, foram selecionadas as bibliografias mais citadas por outros autores e/ou que possuíam maior relação com os assuntos trabalhados nesta pesquisa através da consulta ao sumário dos mesmos e leitura dos capítulos de interesse, além de priorizar os conteúdos mais atuais. Não foi delimitado um período específico de pesquisa, visando encontrar a maior quantidade de conteúdo possível que possa colaborar com a pesquisa, em virtude do tema ser relativamente novo.

A partir dos resultados obtidos com a pesquisa bibliográfica, foi realizada uma análise crítica sobre os principais aspectos positivos e também os desafios da Indústria 4.0 na Gestão de Resíduos Sólidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Indústria 4.0 traz como consequência uma mudança exponencial no mundo. O uso de seus conceitos e tecnologias já são utilizados em vários países, principalmente os mais desenvolvidos. No âmbito da Gestão de Resíduos Sólidos, essa revolução abre portas para uma gama de oportunidades que abrangem desde a otimização dos processos industriais até a melhoria na coleta e tratamento de resíduos.

No entanto, simultaneamente, a Quarta Revolução Industrial também apresenta desafios substanciais para a Gestão de Resíduos Sólidos. Desta forma, serão exploradas as principais vantagens e desafios da Indústria 4.0 na Gestão de Resíduos Sólidos, bem como as estratégias-chave que podem ser empregadas para aprimorar essa gestão e mitigar tais desafios.

4.1. VANTAGENS DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

As indústrias inteligentes vêm demonstrando grandes benefícios, principalmente relacionados ao aumento da qualidade dos produtos, redução de erros e de custo de produção, otimização de processos, alta flexibilidade e capacidade de personalização dos produtos (ALBINO, 2021; MAGALHÃES; VENDRAMINI, 2018).

A otimização dos processos industriais, um elemento essencial da Indústria 4.0, tem o potencial de diminuir a produção de resíduos sólidos ao reduzir a ocorrência de produtos defeituosos e o desperdício gerado pelas máquinas. Isso se traduz em uma menor quantidade de resíduos a ser gerenciados e dispostos (ALMEIDA et. al, 2021). Gonçalves (2019) ainda reforça, dizendo que "o conceito de indústria 4.0 permite que haja vantagens como menos desperdícios de materiais, menos resíduos, redução de emissão de poluentes, menos estoque, uso de fonte alternativa de energia com redução de consumo, entre outros" (GONÇALVES, 2019, p.29).

Na era da Quarta Revolução Industrial, as tecnologias desenvolvidas ultrapassam as fronteiras do ambiente fabril, encontrando aplicabilidade em diversos setores da sociedade. No que tange à Gestão de Resíduos Sólidos, surgem possibilidades e oportunidades a serem exploradas. Isso se torna relevante ao considerar as frequentes deficiências na gestão de resíduos, como é evidenciado no contexto brasileiro.

Segundo Santos, Lima e Borges (2021), em 2018, o Brasil gerou um volume de 78 milhões de toneladas de resíduos sólidos, dos quais 35,7 milhões, equivalente a 40,5%, recebeu tratamento inadequado, além de 6,3 milhões de toneladas que não foram sequer

coletadas. Nesse cenário, tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), robôs autônomos e Inteligência Artificial (IA) apresentam o potencial de promover melhorias substanciais nas abordagens de tratamento de resíduos. A seguir serão abordados alguns exemplos.

Segundo Marcucci e Borges (2021), a empresa Remeo, sediada na Finlândia, desenvolveu uma estação automatizada de triagem para separação de materiais recicláveis, demonstrando como a automação pode aprimorar a eficácia dos processos de reciclagem. A empresa ReSource International, está explorando a utilização de drones equipados com sensores para coletar informações valiosas em aterros sanitários. Esses drones podem fornecer dados, como volume de resíduos, emissões de gases e contaminações, auxiliando na tomada de decisões e no monitoramento. Os autores ainda apresentam as seguintes empresas:

[...] para a coleta e triagem, têm-se: o Grupo Volvo que, em conjunto com a empresa Renova, realiza pesquisa e desenvolvimento de veículo autônomo para coleta de resíduos;[...] Para a minimização de desperdícios com a impressão 3D, a startup canadense Genecis Bioindustries Inc. pesquisa e desenvolve tecnologia para produção de plástico biodegradável que pode ser usado para produzir novos filamentos 3D e embalagens. [...] (MARCUCCI; BORGES, 2021, p.72 e 73).

Zanetti et. al. (2022) descrevem a coleta de resíduos sólidos na cidade de Santander. De acordo com os autores,

“A coleta urbana de resíduos sólidos em Santander é automatizada. Os coletores públicos informam quando estão cheios, evitando a coleta quando ainda é desnecessária. Foram instalados nas lixeiras sensores de volume, umidade, odor e emissão de gases, entre outros, bem como tags de radio frequência (RFiD) e comunicação por proximidade (NFC), antena dual (GPRS/GPS), GPS nos caminhões de coleta, aplicações móveis para auxiliar o trabalho de coleta e manutenção, e software de tracking para monitoramento e gerenciamento unificado das operações” (ZANETTI et. al., 2022,p.7).

Cidades como a de Barcelona e Singapura se destacam pela utilização de lixeiras inteligentes, no caso de Barcelona, elas possuem capacidade de fornecer informações como o volume e o tipo de material que contém através de sensores (ZANETTI et. al 2022; CARNEVALI; ALCANTARA, 2020).

Zanetti et. al. (2022) ainda apresentam o caso da cidade de Itu, localizada no interior de São Paulo, onde foi implementado contêineres com sensores de peso e volume, colocados em pontos estratégicos da cidade, desta forma as informações geradas auxiliam na otimização de sua coleta.

A cidade de Orlando, segundo Carnevali e Alcantara (2020) “O Serviço de coleta é feito com o auxílio de software de gerenciamento geográfico, ao mapear e informar os dias de coleta de lixo reciclável — ou não —, por localização das residências (CARNEVALI; ALCANTARA, 2020, p.99)”, além de possuírem caminhões de coleta que realizam

separação dos materiais recicláveis.

Gonçalves (2019) apresenta algumas empresas que utilizam tecnologias da Indústria 4.0, sendo apresentado no quadro 3 empresas que apresentaram benefícios para a Gestão de Resíduos.

Quadro 3 - Empresas que utilizam tecnologia da Indústria 4.0 e seus benefícios para Gestão de Resíduos.

EMPRESA	TECNOLOGIAS	BENEFÍCIOS
VALE	Sensores para detecção de problemas, digitalização de processos e inteligência artificial.	Aumento em 30% vida útil dos pneus de caminhões empregados no transporte de minério e redução de custos.
VOLKSWAGEN (São Bernardo do Campo-SP)	Laboratório de Inteligência Artificial.	Aumento da eficiência no desenvolvimento de protótipos de veículos.
MICROSOFT	Inteligência Artificial e computação em nuvem.	Desenvolvimento de programa para melhorar a gerência dos recursos naturais.
MERCEDES-BENZ e FORD	Impressora 3D na confecção de peças e exoesqueletos.	Redução do uso de materiais.
THYSSENKRUPP (Poços de Caldas-MG)	Sensores, QR Codes, Computação em nuvem e sistemas integrados.	A empresa de autopeças tem índices baixos de refugo.
MAISSI (Santa Catarina)	Oferece tecnologias (IoT, Sensores, radiofrequência) para fábricas de alumínio, papel e celulose.	Maior eficiência e redução de erros.
General Motors, NISSAN, MWM, Case New Holland (CNH), Grupo Saint-Gobain, NSG	Embalagens Inteligentes, equipadas com sensores, desenvolvidas pela Reciclapac.	Permite monitoramento e reutilização das embalagens, evitando destinação incorreta.
Polo Automotivo da FIAT (Betim-MG)	Realidade Virtual, IoT.	Redução de resíduos gerados e de desperdícios através do corte preciso das chapas de aço, viabilizado pela realidade virtual, além do menor consumo de energia e água para fabricar seus carros.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de Gonçalves (2019, p. 21-23).

Um outro ponto em que a Indústria 4.0 se destaca está relacionado ao consumo. Os consumidores contemporâneos, frequentemente referidos como Consumidores 4.0, demonstram uma crescente preocupação com questões ambientais e exigem uma conduta

mais sustentável por parte das empresas.

A empresa Boston Consulting Group (BCG) realizou de junho a julho de 2022, uma pesquisa com aproximadamente 19 mil consumidores, de caráter global, incluindo países como Brasil, EUA, Alemanha e China e foi constatado que 80% dos consumidores se preocupam com os impactos ambientais em suas compras. Além disso, 60% dos participantes afirmam ter práticas sustentáveis como a reciclagem. Um destaque importante vai para o Brasil, que possuiu um dos maiores resultados, segundo a pesquisa 89% dos brasileiros entrevistados se preocupam com sustentabilidade no consumo de determinadas categorias como “produtos para cuidados domiciliares, carros, PCs e tablets”. Entretanto, o relatório da BCG aponta que apenas 1% a 7% dos consumidores estão dispostos a pagar maiores preços por produtos mais sustentáveis (SANGHI et. al. ,2022).

O IBM Institute for Business Value realizou uma pesquisa, em março de 2021, com 14 mil pessoas pertencentes a nove países, incluindo o Brasil, para entender a visão dos consumidores quanto à sustentabilidade ambiental. Nesta pesquisa 55% dos consumidores afirmam que a sustentabilidade é “muito ou extremamente importante” para seleção de uma marca, o estudo apontou ainda que 54% dos entrevistados disseram estar dispostos a pagar mais por produtos que agredem menos o meio ambiente e seis de cada dez consumidores são favoráveis a mudarem seus hábitos de consumo a fim de reduzir impactos ambientais (IBM, 2021).

Nesse contexto, a Indústria 4.0 surge como uma abordagem capacitada para enfrentar essa nova demanda, uma vez que quebra o paradigma da produção massiva e padronizada e abre caminho para a personalização de produtos. Em complemento às tecnologias desta nova Revolução Industrial, torna-se essencial o investimento em iniciativas ecológicas, englobando ações como redução da poluição gerada pela indústria, adoção de fontes de energia renovável, minimização do consumo de matéria-prima e utilização de materiais biodegradáveis, com objetivo de atender às expectativas cada vez mais rigorosas dos consumidores por produtos sustentáveis (FISCILETTI; DE MATOS; COSTA JUNIOR, 2020).

Como resultado, essas práticas não apenas diminuem o impacto ambiental das indústrias, mas também reduzem o volume de resíduos gerados tanto pelas empresas quanto pelos consumidores. Entretanto, alguns autores trazem desvantagens e possíveis desafios enfrentados com a implementação da Indústria 4.0, que podem trazer consequências negativas para a Gestão de Resíduos Sólidos.

4.2. DESAFIOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Apesar das vantagens significativas que a Indústria 4.0 oferece na Gestão de Resíduos Sólidos, também é importante considerar os desafios e as desvantagens que essa revolução tecnológica pode trazer para esse campo.

O primeiro aspecto a se considerar é um possível aumento da Geração de Resíduos. O aumento da capacidade de produção, combinado à redução de custos possibilitados pela Indústria 4.0, se traduz em preços mais acessíveis, uma oferta ampliada de produtos e um incremento no poder de compra. Como resultado dessa mudança, pode ocorrer um notável aumento no consumo, o que, por sua vez, se reflete na geração de resíduos (AMAYA, 2017; SCHWAB, 2016). Como estratégia para minimizar tais desafios é essencial a conscientização da sociedade para práticas de consumo mais saudáveis e responsáveis, Amaya (2017) afirma que “[...] somente haverá Sustentabilidade se desvincularmos os avanços sociais qualitativos de infundáveis aumentos quantitativos de produção e consumo, portanto, fundamental a atuação do indivíduo como cidadão consumidor consciente [...]” (AMAYA, 2017,p.97). Guimarães et. al. (2015) ressaltam ainda a importância das empresas neste processo de conscientização da população, através de campanhas de marketing que venha incentivar a mudança de hábito dos consumidores e na promoção de produtos sustentáveis.

Além disso, Gonçalves (2019) destaca que a produção das tecnologias desta nova Revolução Industrial também é um fator preocupante. Segundo a autora: "o maquinário que é responsável por toda essas vantagens ainda terá como fonte as matérias-primas e, conforme a Indústria 4.0 vai se desenvolvendo, haverá a produção dessas tecnologias e os gastos com recursos naturais" (GONÇALVES, 2019, p.29). Assim, após o ciclo de vida desses equipamentos, eles se tornarão parte dos Resíduos Sólidos gerados, agravando ainda mais os desafios associados à sua gestão. Como exemplo da dificuldade já enfrentada na gestão de lixo eletrônico, Fisciletti, Dias e Paixão (2023) afirmam que em 2019, aproximadamente 53,6 milhões de toneladas métricas de lixo eletrônico foram geradas em todo o mundo. No entanto, somente cerca de 17% desse volume foi coletado e reciclado de forma apropriada. Portanto, a Indústria 4.0 apresenta riscos de intensificar os desafios inerentes à gestão de resíduos sólidos. As empresas têm à disposição estratégias como a Economia Circular que incentiva a reutilização, reciclagem e remanufatura de produtos e equipamentos, minimizando o desperdício e prolongando o ciclo de vida dos recursos. (FISCILETTI; DE MATOS; COSTA JUNIOR, 2020). Leitão (2015) afirma que nessa estratégia os produtos ao fim de sua vida em vez de se tornar resíduos, se tornam recursos para se utilizar em outros processos. A autora

ainda apresenta o caso da empresa Re-Tek na Escócia, como um exemplo de aplicação da Economia Circular. A empresa concede bonificações aos consumidores que devolvem seus produtos eletrônicos após fim do seu ciclo de vida, sendo assim reparados ou reciclados. Destaca-se que 80% dos produtos são recuperados para o comércio, o restante são reciclados e apenas 1% vão para os aterros sanitários.

Outro desafio crucial a ser enfrentado na Indústria 4.0 é o substancial investimento financeiro necessário para a adoção de suas tecnologias. Tanto o governo, ao implementá-las na Gestão de Resíduos, quanto as empresas, ao substituir e adaptar suas estruturas para alinhá-las com os princípios da Indústria 4.0, enfrentam custos significativos (SANTOS; LIMA; BORGES, 2021). Segundo um estudo realizado por Falani (2022) em empresas brasileiras do setor têxtil, "o investimento em novas tecnologias é o maior desafio identificado, representando 75% do total das empresas estudadas" (FALANI, 2022, p. 71). Pacchini et. al. (2020) reforçam ainda em sua pesquisa, realizada com intuito de analisar as principais barreiras na implementação da Indústria 4.0, em empresas brasileiras ligadas ao setor de cadeia de suprimentos da indústria automotiva, onde constatou que a necessidade de investimentos na obtenção das novas tecnologias foi um dos motivos mais citados pelos entrevistados. Gonçalves (2019) ainda reafirma tal desafio, mas apresenta um contraponto quanto ao retorno do investimento: "O ponto negativo está na implementação da tecnologia, por ser preciso alto investimento. Porém, após a sua instalação e utilização, o processo produtivo passará a ser econômico" (GONÇALVES, 2019, p.29).

Além disso, a resistência à mudança nas empresas em relação à implementação da Indústria 4.0 é um desafio considerável a ser superado, segundo Robbins "as organizações e seus membros resistem à mudança [...] Ela dificulta a adaptação e o progresso"(ROBBINS, 2005, p.425). Isso ocorre, em parte, devido à inércia organizacional e às preocupações relacionadas ao desconhecido. Muitas empresas já possuem sistemas e processos estabelecidos que são difíceis de abandonar em prol da automação avançada e da digitalização. Como estratégia para superação deste obstáculo o autor propõe melhoria na comunicação com os funcionários visando clarear os motivos das mudanças e também inseri-los no processo de tomada de decisão (ROBBINS, 2005).

Adicionalmente, a transição para a Indústria 4.0 geralmente demanda um substancial investimento em mão de obra altamente qualificada. A operação e manutenção dos novos maquinários exigem habilidades técnicas especializadas, Da Silva et. al. (2020, p.3) afirmam que a "Indústria 4.0 demandará novos talentos técnicos e impulsionará a criação de novas atribuições no chão de fábrica. Assim, as empresas precisarão de mão de obra cada vez mais

qualificada para desenvolver e executar sistemas avançados de manufatura e analisar os dados recebidos", o que pode representar um desafio significativo durante o processo de implementação, especialmente diante da já existente escassez de talentos qualificados (SANTOS; LIMA; BORGES, 2021). Da Silva, Leocádio e Venanzi (2021) destacam que o Brasil ainda possui uma grande defasagem do seu sistema educacional, com baixa qualidade de ensino, o que o distancia de países mais desenvolvidos. Desta forma os autores propõem uma mudança educacional voltada para a preparação da força de trabalho para esse novo contexto, denominada de Educação 4.0. Além de temáticas tecnológicas como robótica, modelagem e automação, a Educação 4.0 também aborda assuntos voltados à inovação, incentivo à criatividade e participação na resolução de problemas, Da Silva et. al. (2020, p.3) afirmam:

"O profissional da Indústria 4.0 precisa estar antenado às novas tecnologias e, ao mesmo tempo, ser capaz de resolver problemas complexos, pensar e avaliar situações criticamente, analisar e sintetizar informações provenientes de fontes muito diversificadas e abstratas, além das características sociais como capacidade de cooperar, transmitir o conhecimento, se comunicar efetivamente e trabalhar em grupo".

Além disso, é essencial a integração entre as empresas, universidades e o governo, sendo este último responsável em investir, criar projetos e incentivar a área da educação. Da Silva, Leocádio e Venanzi (2021, p. 60) reitera: "Há a necessidade de um plano governamental forte e presente nessa transação, onde o investimento em tecnologias, recursos humanos, infraestrutura e o incentivo à Educação 4.0 é imprescindível para a adaptação ao mercado".

Cabe destacar que países em desenvolvimento como o Brasil possuem um desafio ainda maior, se comparado a países mais avançados e que lideram essas mudanças, como é o caso dos Estados Unidos, Alemanha e China. O Brasil ainda está em processo inicial nesta nova Revolução Industrial, fatores como seu acesso limitado a recursos tecnológicos e financeiros, baixo índice de qualificação de sua população e um sistema educacional defasado intensificam ainda mais seu processo de inovação (TEIXEIRA et. al., 2019).

5. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento industrial e tecnológico desde a Primeira Revolução Industrial até a atual Indústria 4.0, é possível observar um aumento exponencial da capacidade de produção, da exploração de matéria-prima e no consumo. Tais mudanças geraram uma enorme quantidade de resíduos tornando sua gestão um grande desafio na atualidade.

A Quarta Revolução Industrial, com suas tecnologias inovadoras, representa uma oportunidade significativa para mitigar a produção de resíduos e aprimorar sua gestão. Conforme analisado nas referências deste trabalho, há muitos exemplos bem sucedidos não só na melhoria da eficiência dos processos industriais, redução de erros e refugos produzidos, dentre outros ganhos para as empresas, mas também no uso da tecnologia na própria Gestão dos Resíduos, o que se traduz em maior eficiência nos métodos de coleta, tratamento, monitoramento e disponibilização de informações para embasar processos de tomada de decisão, entre outros benefícios abordados neste trabalho.

Contudo, é crucial enfatizar que a implementação dessas tecnologias deve ser realizada com cautela, levando em consideração os desafios inerentes a essa transformação. É inegável que várias mudanças são primordiais para acompanhar o processo para que ele ocorra corretamente. A sociedade deve ser incentivada a adotar hábitos de consumo conscientes e entender a importância da correta destinação de seus resíduos, as empresas por sua vez necessitam melhorar a comunicação com seus funcionários, prepará-los para as eventuais mudanças e investir em treinamentos e qualificação profissional, além de adotar estratégias como a economia circular e a logística reversa. O governo possui um papel primordial no incentivo financeiro à implementação dessas tecnologias, tanto nas empresas, quanto nos serviços de tratamento de resíduos, além disso, é crucial o investimento em educação de forma a preparar e qualificar a mão-de-obra adequada a esta nova realidade. Caso contrário, tais desafios podem comprometer o processo e até mesmo resultar em consequências opostas às desejadas.

6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Foi possível identificar certa carência de estudos relacionados aos temas abordados, especialmente no que diz respeito à Indústria 4.0, tendo em vista seu desenvolvimento relativamente recente. A implementação da Indústria 4.0 está em andamento e suas possíveis consequências para a humanidade ainda são incertas. Desta forma, é de suma importância a intensificação de pesquisa para compreender os impactos dessa revolução industrial, a fim de antecipar desafios e promover uma integração eficiente dessa transformação na sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTIN, M. R.; ELIENESIO, M. L. B.; AIRES, A. S.; PONTES, H. L. J.; ARAGÃO JUNIOR, D. P. Principais inovações tecnológicas da indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVI., 08 a 10 nov. 2017, Bauru, São Paulo, Brasil.

ALBINO, A. M. A.. Os benefícios da indústria 4.0 na redução dos impactos ambientais: uma revisão sistemática da literatura. 2021. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 2021.

ALMEIDA, I. M. S.; GUEDES F. L.; SILVA, K. A.; MENEZES, N. S.. INDÚSTRIA 4.0 E A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ALINHADOS AOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS). In: ALMEIDA, Irene Maria Silva de et al. (Org.). Resíduos Sólidos: Gestão e tecnologia. Recife: Edufrpe/Gampe, 2021.

AMAYA, O. C.. A sociedade de consumo na era digital-os desafios do desenvolvimento sustentável na era da quarta revolução industrial. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência Jurídica) - Universidade do Vale do Itajaí. 2017.

BRASIL. Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 de abril de 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305, 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Lei Nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.

CARNEVALI, M.; ALCANTARA, A. C. CIDADES INTELIGENTES E A SUSTENTABILIDADE URBANA. Caderno Intersaberes. V. 9, n 19, 2020.

CITISYSTEMS. Indústria 4.0: O que é, e como ela vai impactar o mundo. Disponível em: <www.citisystems.com.br/industria-4-0>. Acesso em: 13 de mai. de 2023.

COSTA, J. W. N.; DE OLIVEIRA, R. J.; LEPRE, T. R. F.. PERFIL DO CONSUMIDOR 4.0 E NOVOS MODELOS DE NEGÓCIO. South American Development Society Journal, [S.l.], v. 5, n. 15, p. 499, fev. 2020. ISSN 2446-5763. Disponível em: <<https://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/286>>. Acesso em: 24 set. 2023.

DA SILVA, A. M.; SANTOS, T. D. L. P.; MELO, F. G. O.; QUINTILHANO, S. R.. O ensino de Engenharia em face às competências profissionais exigidas pela Indústria 4.0. In: XLVIII Congresso Brasileiro de Educação Em Engenharia (Cobenge) e III Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da Abenge, 2020. Anais... [...]. [s.l.], Associação Brasileira de Educação em Engenharia, 2020.

DA SILVA, S. L. S.; LEOCÁDIO, A. P. R.; VENANZI, D. A transformação da educação como exigência para a mão de obra na indústria 4.0. **REMIPE - Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec Osasco**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 46–62, 2021. Disponível em:

<<https://remipe.fatecosasco.edu.br/index.php/remipe/article/view/291>>. Acesso em: 15 out. 2023.

FALANI, L. A.. Utilização das ferramentas da Produção Mais Limpa e Tecnologias da Indústria 4.0 em um processo de préalvejamento de algodão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Têxtil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2022.

FISCILETTI, R. M.; DE MATOS, E.; COSTA JUNIOR, J. PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA 4.0. Amazon's Research and Environmental Law, v. 8, n. 03, p. 53-69, set. 2020.

FISCILETTI, R. M.; DIAS, A.; PAIXÃO, S. ECONOMIA CIRCULAR COMO RESPOSTA PARA CONTER OS EFEITOS DA OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA NA INDÚSTRIA 4.0. Amazon's Research and Environmental Law, v. 10, n. 01, p. 134-151, 20 fev. 2023.

GRAGLIA, M. A. V. G.; LAZZARESCHI, N. A Indústria 4.0 e o Futuro do Trabalho: Tensões e Perspectivas. Revista Brasileira de Sociologia, v. 6, n. 14, p. 109-151, set./dez., 2018.

GAUCHAZH. O plástico é realmente um vilão? Economia circular pode provar que não. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/conteudo-de-marca/2020/04/o-plastico-e-realmente-um-vilao-economia-circular-pode-provar-que-nao-ck9n6fnn900bv015nq7dmhmdx.html>>. Acesso em: 13 de mai. de 2023.

GONÇALVES, Yasmin Pires. Contribuições da Indústria 4.0 nas operações sustentáveis. 2019. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

GUIMARÃES, C.; VIANA, L. S.; COSTA, P. H. de S. Os desafios da consciência ambiental: o marketing verde em questão. In: C@LEA - Cadernos de Aulas do LEA. n. 4, p. 94 - 104, Ilhéus - BA, nov. 2015.

IBM. Estudo da IBM: COVID-19 impactou 9 em 10 pontos de vista dos consumidores sobre sustentabilidade, 2021. Disponível em: <<https://admin04.prod.blogs.cis.ibm.net/blogs/ibm-comunica/estudo-sustentabilidade-pandemia/>>. Acesso em: 05 out. 2023.

INSTITUTO LIXO ZERO. Conceito Lixo Zero, 2010. Disponível em: <<https://ilzb.org/conceito-lixo-zero/>>. Acesso em: 13 out. 2023.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R.. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. Estudos avançados, v. 25, p. 135-158, 2011.

JÚNIOR, M. F. F.. A terceira revolução industrial e o novo paradigma produtivo: algumas considerações sobre o desenvolvimento industrial brasileiro nos anos 90. Revista da FAE, v. 3, n. 2, 2000.

LEITÃO, A. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting. v. 1, n. 2, p. 149-171, 2015.

MAGALHÃES, R.; VENDRAMINI, A.. Os impactos da quarta revolução industrial. GVEXECUTIVO, v. 17, n. 1, jan./fev. 2018.

MAPLINK. Você sabe quais são os principais tipos de logística reversa? Disponível em: <<https://maplink.global/blog/tipos-logistica-reversa/>>. Acesso em: 13 mai. 2023.

MARCUCCI, J. C.; BORGES, A. C. G.. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: BNDES VIABILIZADOR DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0. In: ALMEIDA, Irene Maria Silva de et al. (Org.). Resíduos Sólidos: Gestão e tecnologia. Recife: Edufrpe/Gampe, 2021.

MARTINHO, M. G. M.; GONÇALVES, M. G. P.. Gestão de resíduos. Universidade Aberta, 2000.

MARTINS, T. M. .; CARNEIRO, R. N. .; MERGULHÃO, R. C. . O conceito da segurança da informação como estratégia organizacional no contexto da Indústria 4.0. **Revista de Gestão e Secretariado**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 1068–1082, 2023. Disponível em: <<https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/1571>>. Acesso em: 3 dez. 2023.

MIRANDA, F. S. M. P.. Trabalho e Educação no Brasil: o impacto da Indústria 4.0. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM EDUCAÇÃO ESCOLAR DA UNIVERSIDADE DE SOROCABA, n. I, 2022, Sorocaba. Anais [...] Sorocaba: Uniso, 2022.

MONTEIRO, M.. ECONOMIA CIRCULAR. **START&GO**, Lisboa, n. 20, mar./abr. 2018. Disponível em: <<https://www.startandgo.pt/pubs/startgo20.pdf>>. Acesso em: 02DEZ2023.

PACCHINI, A. P. T.; SANTOS, J. C. S.; LOGIUDICE, R.; LUCATO, W. C.. Indústria 4.0: barreiras para implantação na indústria brasileira. *Exacta*, v. 18, n. 2, p. 278-292, 2020.

PADILHA, E. T.. A filosofia "Lixo Zero" nas Políticas Públicas Brasileiras. 2019. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2020.

RIBEIRO, A. F.. Taylorismo, fordismo e toyotismo. *Lutas Sociais*, v. 19, n. 35, p. 65-79, 2015.

ROBBINS, S. P.. Comportamento organizacional. 11. ed. São Paulo: Pearson Pretice Hall, 2005..

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D.. As revoluções industriais até a indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018.

SANGHI, K.; BHARADWAJ, A.; TAYLOR, L.; TURQUIER, L.; ZAVERI, I.. Os consumidores são a chave para tornar o verde mainstream. BCG. 2022. Disponível em: <<https://www.bcg.com/publications/2022/consumers-are-the-key-to-taking-sustainable-products-mainstream>>. Acesso em: 05 out. 2023.

SANTOS, L. S.; ARAÚJO, R. B. A revolução industrial. **História Econômica e Geral**, 2018. Disponível em: <https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/10264518102016Historia_economica_geral_e_do_brasil_Aula_03.pdf>. Acessado em 01ABR2023.

SANTOS, M. C.; LIMA, T. P. ; BORGES, A. C. G. INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO INTEGRADA E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS/SP. In: ALMEIDA, Irene Maria Silva de et al. (Org.). Resíduos Sólidos: Gestão e tecnologia. Recife: Edufrpe/Gampe, 2021.

SANTOS, M.; MANHÃES, A. M.; LIMA, A. R. Indústria 4.0: Desafios e oportunidades para o Brasil. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, 10., 2018, São Cristóvão, SE. Anais [...]. São Cristóvão, SE, 2018. p. 317 - 329.

SCHWAB, K.. A quarta revolução industrial. São Paulo. Edipro, 2016.

SHIBAO, F. Y.; MOORI, R. G.; SANTOS, MR. A logística reversa e a sustentabilidade empresarial. Seminários em administração, v. 13, p. 1-17, 2010.

SILVA SAMPAIO, J. A. da; VILAS BOAS, D. C. C. O estudo da substituição parcial da areia por agregados de espumas rígidas de poliuretano expandido no concreto sem função estrutural. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 6, n. 10, p. 78320–78332, 2020. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/18247>>. Acesso em: 24SET2023.

SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Ecoeficiência: um instrumento para a redução da geração de resíduos e desperdícios em estabelecimentos de saúde. Cadernos de saúde pública, v. 21, p. 1893-1900, 2005.

SOUSA, J. C. S. INDÚSTRIA 4.0: FUNDAMENTOS, PERSPECTIVAS E APLICAÇÕES. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-árido. 2022.

TECNICON. 4 exemplos práticos da adoção da Indústria 4.0 nas fábricas. Disponível em: <https://www.tecnicon.com.br/blog/476-4_exemplos_praticos_da_adocao_da_Industria_4_0_nas_fabricas>. Acesso em: 13 de mai. de 2023.

TEIXEIRA, R. L. P; TEIXEIRA, C. H. S. B.; BRITO, M. L. A.; SILVA, P. C. D..Os discursos acerca dos desafios da siderurgia na indústria 4.0 no Brasil. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.5, n.12, p. 28290-28309, dez.. 2019.

VINICIUS, M. A.; GERIBELLO, R. S.; PINTO, S. B.; INOUE, J. S. P.; AMARANTE, M. S.. INDÚSTRIA 4.0. Revista Pesquisa e Ação, v. 5, n. 1, p. 127-147, 2019.

ZANETTI, I. C. B. B.; OLIVEIRA, L. F. E.; FIOROTT, T. H. Gestão de cidades versus gestão de resíduos sólidos: a Cidade Inteligente será a Cidade Lixo Zero? In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (FIRS), 13., 2022, Sao Paulo.