

Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Ciências Agrárias
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

YASMIN PIRES GONÇALVES

CONTRIBUIÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0 NAS OPERAÇÕES SUSTENTÁVEIS

UBERLÂNDIA – MG

2019

YASMIN PIRES GONÇALVES

CONTRIBUIÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0 NAS OPERAÇÕES SUSTENTÁVEIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora:

Profª. Dra. ETIENNE CARDOSO
ABDALA

UBERLÂNDIA – MG

2019

RESUMO

A atividade industrial já passou por três revoluções e cada uma trouxe consigo sua particularidade e benefícios. Atualmente, passamos pela Quarta Revolução Industrial, também chamada Indústria 4.0, a qual provocará mudanças em vários aspectos da sociedade, sendo de grande importância o desenvolvimento de estudos nessa área. Com isso, o objetivo deste trabalho é analisar como a Indústria 4.0 pode contribuir nas operações relacionando-as com a sustentabilidade. As metodologias utilizadas foram a Revisão Sistemática da Literatura, a qual consiste em estratégias de busca por trabalhos publicados, leitura dos mesmos e retirada de informações, e o Método de Análise de Conteúdo proposto por Bardin, que permite fazer pesquisas, explorar e interpretar materiais, sendo neste caso a utilização de reportagens para tal análise. Após a aplicação dos métodos, verificou-se que as tecnologias poderão ser usadas a favor das empresas não só no aspecto econômico, mas também no social e ambiental, promovendo avanços e modificando a estrutura das organizações.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Sustentabilidade; Revisão Sistemática; Análise de Conteúdo.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	5
2.	OBJETIVO.....	6
2.1	Objetivo geral.....	6
2.2	Objetivos Específicos.....	6
3.	JUSTIFICATIVA.....	6
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1	Indústria 4.0.....	7
4.1.1	<i>Princípios da Indústria 4.0</i>	8
4.1.2	<i>Pilares da Indústria 4.0</i>	9
4.2	Indústria 4.0 e Sustentabilidade.....	10
5.	METODOLOGIA.....	12
5.1	Revisão Sistemática da Literatura.....	12
5.2	Mapeamento de Empresas.....	13
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
6.1	Revisão Sistemática da Literatura.....	15
6.2	Mapeamento de Empresas.....	18
6.2.1	<i>Categorias Iniciais</i>	23
6.2.2	<i>Categorias Intermediárias</i>	24
6.2.3	<i>Categorias Finais</i>	26
6.2.4	<i>Síntese da Progressão das Categorias</i>	27
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
	REFERÊNCIAS.....	32
	ANEXO.....	33

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é possível dizer que estamos iniciando uma revolução tecnológica na qual promove alterações em diversas áreas, em como vivemos, como nos relacionamos e trabalhamos, sendo nomeada como a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0. Por ser uma nova revolução, com diferentes propostas, é preciso estudar e compreender a velocidade e a amplitude da mesma. Existem no mundo diversos exemplos do que se tornará cada vez mais comum, como a inteligência artificial, robótica, veículos autônomos, impressão 3D, nanotecnologia, biotecnologia, entre outros (SCHWAB, 2016).

Indústria 4.0 é o termo utilizado para se referir a estratégia de alta tecnologia desenvolvida pela Alemanha e que está sendo aplicada à indústria. As tecnologias avançadas conseguem integrar o físico, o digital e o biológico, formando um sistema. As máquinas conseguem completar tarefas complexas devido a auto-otimização, auto-configuração e a inteligência artificial, a fim de serem eficientes e proporcionar bens ou serviços de melhor qualidade. (BAHRIN et al., 2016).

Quando se trata das três primeiras revoluções industriais, destacam-se avanços como a produção em massa, as linhas de montagem, a eletricidade e a tecnologia de informação. Já a Quarta Revolução Industrial pretende aliar sistemas de controle cibernéticos (*Cyber-Physical Systems* - CPS) e internet, permitindo comunicação entre produtos e pessoas, sistemas artificiais e técnicos (ANDERL, 2014). Portanto, existe a fusão dos mundos físicos e virtuais, formando sistemas que interagem e analisam dados para prever falhas e adaptar-se às mudanças (THE BOSTON CONSULTING GROUP, 2015).

Diversas mudanças irão ocorrer com essa revolução, sendo que além do aumento da competitividade organizacional, a Quarta Revolução Industrial também é construída sob o conceito de sustentabilidade com o objetivo de melhorar a qualidade de vida e tornar os processos produtivos mais limpos (EROL, 2016). Segundo Stock e Seliger (2016), a indústria 4.0 promove adaptações que podem reduzir perdas de matéria prima e energia elétrica, por exemplo, e, além disso, fornecer dados importantes sobre a produtividade.

O cumprimento da agenda dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU) até 2030 e a pressão sofrida pelas organizações para uma produção mais limpa contribui para que haja uma relação positiva entre a indústria 4.0 e a sustentabilidade, buscando melhorar as condições ambientais desde a concepção dos produtos e até mesmo depois do consumo (LOZANO, 2012). De modo a

alcançar melhores níveis de sustentabilidade, as organizações buscam por tecnologias capazes de garantir resultados significativos nos três níveis do *Triple Bottom Line* (econômico, social e ambiental).

No entanto, cada revolução industrial traz novos desafios, determinam novas abordagens dentro das organizações e trazem consigo uma incerteza nos desdobramentos das transformações geradas (PEREZ, 2010). Portanto, é necessário desenvolver estudos sobre a revolução tecnologia e buscar entender as ações que tornarão as operações sustentáveis, minimizarão a exploração de recursos naturais e a redução de resíduos gerados.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Identificar e analisar a interação entre sustentabilidade e Indústria 4.0 e, indicar, quais as principais contribuições que a Indústria 4.0 pode trazer às organizações para que desenvolvam uma operação mais sustentável.

2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver uma revisão sistemática das principais publicações científicas que relacionam os temas Indústria 4.0 e operações sustentáveis;
- Realizar uma pesquisa em sites de notícias empresariais buscando mapear empresas nacionais e multinacionais que desenvolvem e/ou adotam tecnologias 4.0 com o intuito de tornas as ações das organizações mais sustentáveis;

3. JUSTIFICATIVA

Segundo Carvalho et al. (2018), a Indústria 4.0 é um passo na direção da criação de valor industrial mais sustentável, por oferecer alternativas que permitem a minimização de resíduos, de geração de águas residuais e de emissões atmosféricas, contribuindo com o uso eficiente de matérias-primas e energia, proporcionando benefícios ambientais e econômicos para as empresas.

O Triple Bottom Line é a integração das três dimensões: ambiental, social e econômico. São componentes importantes para que a sustentabilidade seja desenvolvida dentro das organizações e consistem em uso responsável dos recursos naturais, igualdade social e crescimento econômico (VENTURI; LOPES, 2015)

Segundo Fusco e Sacomano (2007), o sistema de produção e operações é a parte ativa da empresa, responsável por torná-la competitiva e obter bons resultados na obtenção e venda de bens e serviços. Toda empresa, seja ela produtora de bens de serviço, como hospitais e bancos, ou de bens tangíveis, como produtos de consumo em geral, possui um sistema de operações. Marketing, finanças, planejamento de novos produtos e produção são exemplos de setores que fazem parte das operações de uma organização.

Dessa forma, a pesquisa acrescentará sobre a Indústria 4.0 e a sustentabilidade, sobretudo no Brasil, em que as publicações sobre esse assunto ainda são pouco desenvolvidas. Os resultados encontrados neste estudo trarão conhecimento das atividades relacionadas a indústria 4.0 e o que ela contribui para o *Triple Bottom Line* nas operações, pois é extremamente necessário desenvolver e tornar a sustentabilidade um fator aplicado dentro das organizações.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Indústria 4.0

A indústria passou por três revoluções, sendo a primeira com início no século XVIII e caracterizada pelos motores a vapor. A segunda com início no século XIX, em que se introduziu a eletricidade e os conceitos de produção em massa e linhas de montagem. Já a terceira revolução teve início no século XX e foi marcada pelo uso da tecnologia da informação e produção automatizada (SCHULES, 2018).

Ultimamente, é discutido sobre a Indústria 4.0, que se deu início em 2011 na Alemanha e é também nomeada como a 4ª Revolução Industrial. Esta revolução tem ocasionado diversas modificações na indústria, na sociedade e no ritmo econômico, além de como é planejado e operacionalizado o trabalho (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017). A internet possui função muito importante na indústria 4.0, pois é a partir dela que é possível a comunicação entre pessoas e equipamentos distantes (CAVALCANTI et al., 2018).

O relatório final sobre Indústria 4.0 foi apresentado em 2012, em uma feira nomeada Hannover, na Alemanha. O fundamento básico seria a integração de máquinas, sistemas e ativos, o que torna possível redes inteligentes nos processos produtivos com o objetivo de aperfeiçoar os processos de manufatura. Com isso, haverá Indústrias Inteligentes ou *Smart Factories*, que serão autônomas e capazes de provocar mudanças necessárias nas produções, programar manutenções e prever falhas. Torna-se possível a comunicação entre uma máquina e outra, por meio de um sistema chamado M2M

(*machine to machine*) que através das informações disponíveis (*big data*) é decidido o modo de produção (RIBEIRO, 2017).

Segundo Shafiq et al., (2015), Indústria 4.0 tem como definição a integração de máquinas e dispositivos com sensores e softwares, usados com o objetivo de prever, controlar e planejar resultados sociais e empresariais com maior qualidade. De acordo com Zhou et al., (2015), a indústria 4.0 é a integração de tecnologia industrial com tecnologia de informação e comunicação, com o objetivo de formar uma indústria digital e inteligente, com manufatura customizada e verde.

O termo Indústria 4.0 descreve as transformações digitais que estão ocorrendo nas indústrias e que pode ser exemplificado por drones, robôs, sensores e impressão 3D. Os robôs vêm sendo feitos a alguns anos, porém o diferencial da indústria 4.0 é conectar essas tecnologias via sensores e outros elementos de controle, com o objetivo de associar o mundo real e o virtual, compondo os sistemas ciber-físicos (BLUNK; WERTHMANN, 2017).

Segundo Oliveira e Simões (2017), o sistema ciber-físico, também chamado de sistema físico-cibernético (*Cyber-Physical Systems – CPS*), integra computadores e processos físicos, coletando informações reais e monitorando as mesmas. Esse sistema traz para a indústria a otimização dos procedimentos, por meio do controle e do monitoramento de todas as partes da produção.

A indústria 4.0 vem se desenvolvendo nas indústrias alemãs e nas universidades. Porém, em outros países como Estados Unidos e na Europa, também estão surgindo estudos e sendo colocado em desenvolvimento a tecnologia. Além desses países, existem outras iniciativas na China, Coreia do Sul e Japão, o que comprova que há um grande movimento envolvendo a Indústria 4.0 (ANDERL, 2014).

4.1.1 Princípios da Indústria 4.0

Segundo CAVALCANTI et al., (2018) a indústria 4.0 possui seis princípios: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação a serviço e modularidade. Conforme o mesmo autor, interoperabilidade é a comunicação entre o homem e os equipamentos por meio da Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*). A virtualização é o monitoramento de todos os procedimentos que ocorrem na indústria por meio de sensores. A descentralização é possível por causa da virtualização, que permite operação a distância e, com isso, descentraliza a tomada de decisão e controla de acordo com as necessidades de produção em tempo real.

A capacidade em tempo real ocorre quando há um sistema integrado e as informações são recebidas automaticamente, e isso ajuda em relatórios de desempenho de produtividade de uma equipe ou de cada indivíduo, auxiliando na identificação de falhas. Orientação a serviço promove agilidade e simplificação de processos, alinhando os sistemas com os objetivos e integrando os diferentes setores de uma empresa. Por fim, a modularidade, em que a produção varia de acordo com a demanda (CAVALCANTI et al., 2018)

4.1.2 Pilares da Indústria 4.0

Existem nove pilares que sustentam a indústria 4.0, os quais são: *Big data* e análise de dados, robôs autônomos, simulação, integração de sistemas horizontal e vertical, a Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT), segurança cibernética, nuvem, fabricação de aditivos e realidade aumentada (PEREIRA; SIMONETTO, 2018).

De acordo com Pereira e Simonetto (2018), há uma explicação para cada pilar. *Big data* e análise de dados envolve a possibilidade de obter grandes quantidades de dados sobre a manufatura e com diversas fontes. Os robôs passarão a ser mais autônomos e capacitados, trabalhando com os humanos de forma mais segura e trazendo menores gastos. As simulações poderão ser feitas com informações obtidas em tempo real, o que auxiliará na tomada de decisão e a partir disso os testes de otimização serão feitos. A integração de sistemas, tanto horizontal quanto vertical possibilitará maior automação.

Segundo Pereira e Simonetto (2018), a Internet das Coisas (IoT) é a interação entre os diversos equipamentos, o que auxilia em adquirir informações em tempo real. A segurança cibernética se torna mais necessária devido à grande quantidade de informação e uso da tecnologia presente na internet. A nuvem, já utilizada atualmente, se torna mais importante dentro das empresas para guardar dados, por exemplo. A fabricação de aditivos envolve a descentralização de produtos, com uso de impressoras 3D e reduzindo despesas com estoque. Por último, a realidade aumentada, que auxiliará na tomada de decisão e no desenvolvimento de procedimentos.

Segundo Tartarotti, Sirtori e Larentis (2018), a Internet das Coisas (IoT) em conjunto com a Inteligência Artificial irá promover um rápido avanço da Indústria 4.0, já que juntas é possível tomada de decisão sem interferência humana. De acordo com Shules (2018), a integração horizontal está relacionada com toda a cadeia de fornecedores, enquanto a integração vertical é a integração dos atuadores em diferentes níveis com os

sensores, até chegar ao nível de planejamento de recursos (ERP), o que torna a produção mais flexível e reconfigurável.

Segundo Hermann, Pentek e Otto (2015), existem quatro componentes muito importantes na Indústria 4.0, que são: Internet das Coisas, Sistemas Físico-Cibernéticos, Fábricas Inteligentes e Internet de Serviços. O único termo, dentre os quatro, ainda não citado e definido é Internet de Serviços (*IoS – Internet of Services*). Segundo Buxmann, Hess e Ruggaber (2009), Internet de Serviços permite que os fornecedores ofereçam serviços por meio da internet. Fazem parte da composição da Internet de Serviços uma infraestrutura de serviços, participantes, modelos de negócios e os próprios serviços oferecidos.

Segundo Anderl (2014), além da Internet das Coisas (IoT) e Internet de Serviços (IoS), tem-se Internet de Dados (*Internet of Data - IoD*). A IoD permitirá armazenar e transferir dados de forma adequada e fornecer modos de análise para interpretar dados em massa.

4.2 Indústria 4.0 e Sustentabilidade

No ano de 1987, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente definiu desenvolvimento sustentável como “exploração equilibrada dos recursos naturais, nos limites da satisfação das necessidades e do bem-estar da presente geração, assim como de sua conservação no interesse das gerações futuras”. E segundo a Comissão mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento – Comissão Brundtland (1987) é o “desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas necessidades”, ambas definições possuem mesma linha de pensamento, usufruir os recursos com consciência de usar apenas o necessário e não esgotar totalmente de maneira que no futuro as gerações não tenham como desfrutar destes recursos (SCHULTE; LOPES, 2008).

De conhecimento amplo, vincula-se sustentabilidade ao tripé econômico-social-ambiental, termo este gerado pelo cientista social inglês John Elkington, que estuda o assunto há 30 anos. As três partes estão intimamente interligadas, e devem sempre serem manejadas juntas, não se deve negligenciar o fator ambiental (água, solo, ar, oceanos, florestas, fauna e flora), visto que ao se tratar de tudo que nos rodeia tem uma importância maior, e sem este não existe os outros dois pilares (TORRESI; PARDINI; FERREIRA, 2010).

As indústrias geram muita riqueza para um país, porém também são responsáveis pelo grande uso de recursos naturais e por serem uma atividade que geralmente polui muito. Devido a essas características, é de extrema importância que seja aplicada a sustentabilidade dentro das empresas (JAYAL et al., 2010). Segundo Rosen e Hishawy (2012), tornar uma manufatura sustentável é muito complexo, pois envolve fatores como tecnologia, engenharia, gestão ambiental, estratégias governamentais, entre outros.

Para as empresas existem diversas barreiras para se tornar sustentável, como o alto custo de investimento e o tempo que demora para obter retorno, falta de uma ferramenta que auxilie na avaliação de impacto ambiental, limitações em tecnologia, entre outros (ESMAELIAN et al., 2016). Com a Indústria 4.0, os empreendimentos poderão ser mais sustentáveis, pois essa revolução industrial trará novas tecnologias de produção, cultura organizacional e impactos fora das organizações (GABRIEL; PESSL, 2016).

Segundo Shules (2018), a indústria 4.0 causa impacto em cada um dos três pilares da sustentabilidade (social, ambiental e econômico). Com relação ao pilar social, tem-se diversos impactos como: diminuição do número de trabalhadores que executam atividades repetitivas e manuais, menor hierarquização dentro de empresas, aumento no desempenho dos trabalhadores, condições de trabalho menos exigentes fisicamente, entre outros.

O pilar ambiental da sustentabilidade tem como impactos redução nas taxas de erros e conseqüentemente menos retrabalho, minimização dos defeitos de qualidade, melhoria na eficiência no uso de energia, diminuição dos índices de poluição e no consumo de recursos (matéria prima), entre outros (SHULES, 2018).

Por fim, tem-se os impactos relacionados ao pilar econômico da sustentabilidade. Estes são: produção de acordo com requisitos de cada cliente, maior investimento em pesquisas, aumento na produtividade, aumento na satisfação dos clientes, aumento na flexibilidade dos negócios, entre outros (SHULES, 2018).

Segundo Beier et al. (2017), a indústria 4.0 pode causar forte impacto no pilar da sustentabilidade pelo fato de que torna mais eficiente o uso de recursos naturais e permite melhoria no uso de fontes de energia renováveis. Os autores citam também sobre o grande impacto na parte econômica, pois com a automação é possível que aconteça uma diminuição no número de pessoas trabalhando dentro das empresas, visto que muitas funções passariam a ser realizadas por máquinas.

5. METODOLOGIA

Foram definidas duas metodologias a serem seguidas e ambas são consideradas estudos secundários, ou seja, partem de estudos primários que estão disponíveis para consulta.

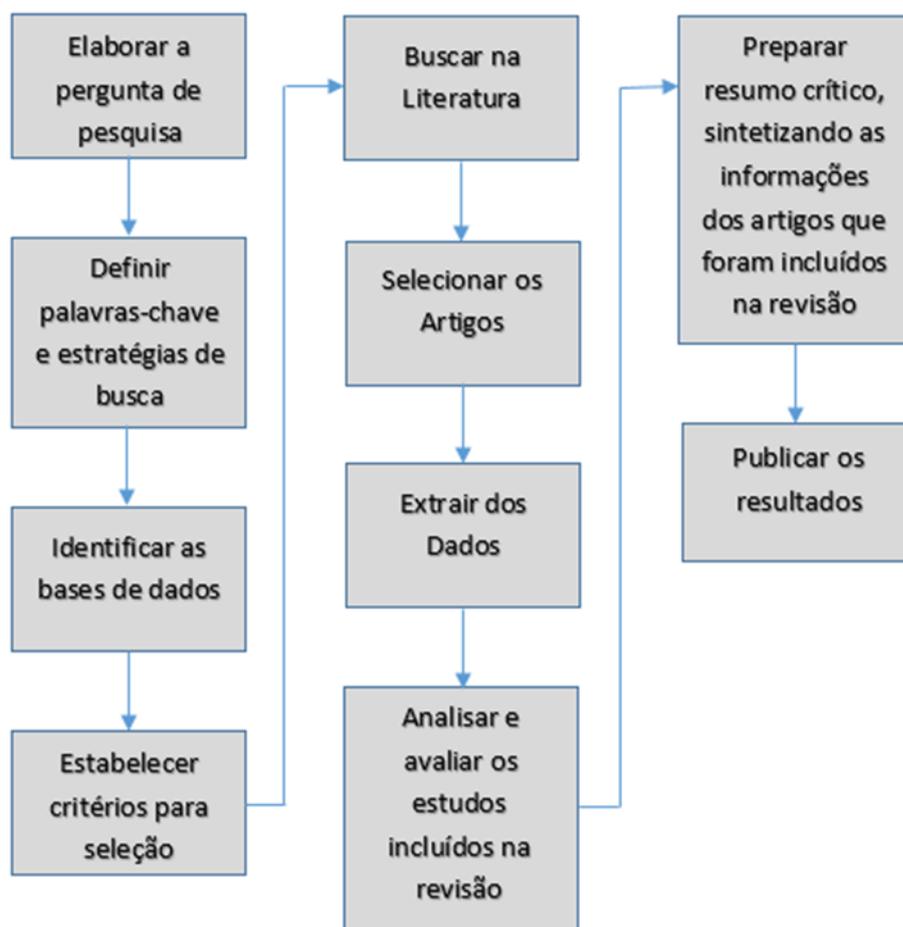
5.1 Revisão Sistemática da Literatura

Revisão sistemática é uma forma de pesquisa que faz uso da literatura sobre um determinado tema como fonte de dados. Esse tipo de pesquisa é importante para a integração de informações de estudos que foram feitos separadamente, e a partir disso, realizar a análise dos resultados obtidos e obter orientações para investigações futuras.

Segundo Galvão e Pereira (2014), revisão sistemática é uma investigação com o foco em uma questão bem definida, que visa identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as evidências disponíveis. São adotados critérios para busca e exclusão de publicações e, além disso, quais os fatores serão analisados.

A elaboração de uma revisão sistemática é conforme o fluxograma abaixo.

Figura 1 – Desenvolvimento da Revisão Sistemática da Literatura.



Fonte: Adaptado de Sampaio e Mancini (2007).

Inicialmente, é estabelecido uma pergunta clara, que serve para nortear a pesquisa. A pergunta estabelecida foi:

- Quais são as contribuições que a mudança tecnológica da indústria 4.0 pode trazer às organizações para o desenvolvimento de uma operação mais sustentável?

Para realizar a busca na literatura, foi consultado o Portal de Periódicos Capes/MEC. Ao entrar no site do Portal de Periódicos Capes, foi selecionado “Buscar assunto”, sendo que a busca foi feita em inglês e as palavras chaves escolhidas foram “sustainability and industry 4.0”. Os resultados foram personalizados com Business & Economics, e foram refinados de tal forma:

- ✓ Data de Publicação: 2014 a 2019 (até agosto);
- ✓ Tipo de Recurso: Artigos;
- ✓ Nível Superior: Periódicos revisados por pares;
- ✓ Inglês.

Os critérios de exclusão de artigos definem quais farão parte da pesquisa e quais não. Portanto, foi definido que não ter as duas palavras-chave determinadas nesta pesquisa e não tratar de operação, faz com que o artigo não seja adequado para esta metodologia, pois o foco da pesquisa está nas práticas de operações sustentáveis.

Após aplicar os filtros e os critérios de exclusão, foram selecionados 22 artigos, de um total de 11.802 publicações, feita a leitura dos mesmos para verificar a pertinência e, posteriormente, foram retiradas as seguintes informações de cada uma das publicações: título, autores, ano, jornal, objetivo, metodologia e resultados. Essas informações foram utilizadas para completar o anexo. A partir desses dados, foi analisado qual jornal e qual ano com maior número de publicações, qual o tipo de pesquisa mais utilizado e qual a metodologia mais frequente, como é mostrado nos resultados.

5.2 Mapeamento de Empresas

A segunda parte da metodologia envolve o levantamento de reportagens em sítios da internet de empresas que utilizam novas tecnologias associadas a Indústria 4.0, retratando situações em que as organizações adotaram ou desenvolveram tecnologias para ações sustentáveis e, com isso, entender quais foram as contribuições das tecnologias para tornar as operações mais sustentáveis.

Os dados foram analisados a partir do método de Análise de Conteúdo definido por Bardin (1977). Análise de conteúdo é uma técnica de análise das comunicações na qual é analisado o que foi dito em entrevistas ou observado pelo pesquisador. Dessa forma, esse método tem sido difundido e empregado com o objetivo de analisar os dados qualitativos.

Os dados analisados são organizados em temas ou categorias, de forma a compreender melhor as informações passadas por eles. A técnica de Bardin (1977) possui fases que são divididas em: 1) pré-análise; 2) exploração do material e 3) tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

Na primeira fase, denominada pré-análise, é feita a leitura do material selecionado para que depois passar para as próximas fases. Dentro da pré-análise, existe a leitura flutuante, escolha dos documentos, formulação das hipóteses e objetivos e, por fim, a elaboração de indicadores. A leitura flutuante consiste no primeiro contato com os textos a serem analisados. A escolha dos documentos está relacionada com a definição do *corpus* de análise. A partir da leitura do material selecionado, dá-se início a elaboração das hipóteses e objetivos. E, por último, elaboração de indicadores, ou seja, interpretação dos documentos (SILVA; FOSSÁ, 2015).

A segunda fase é denominada exploração do material. Todos os textos selecionados são recortados como unidades de registro (palavras, frases, parágrafos) e, as palavras repetidas ou relacionadas ao referencial bibliográfico, darão origem a categorias iniciais. Quando agrupadas tematicamente, as categorias iniciais dão origem as categorias intermediárias e estas últimas quando aglutinadas dão origem as categorias finais. Por fim, a terceira fase é o tratamento dos resultados, inferência e interpretação. Esta fase consiste em captar os conteúdos de todo o material coletado. A análise comparativa ressalta os aspectos considerados semelhantes e os que foram diferentes (SILVA; FOSSÁ, 2015).

Segundo Bardin (1977), para que as categorias sejam de boa qualidade, é preciso ter as seguintes características: exclusão mútua, homogeneidade, pertinência, produtividade, objetividade e fidelidade. Exclusão mútua é uma condição que estipula que cada elemento não pode existir em mais de uma classificação. Homogeneidade indica que um único princípio de classificação deve conduzir a sua organização. Pertinência indica que a categoria pertence ao quadro definido, está adequada. Produtividade é quando a categoria acrescenta informações, fornece resultados. Por fim, objetividade e fidelidade, indica que as categorias precisam ser bem determinadas, evitando distorções.

Este estudo parte de dados secundários retirados do Google e as palavras definidas para a pesquisa foram “Indústria 4.0 e Sustentabilidade”. Ao digitar essas palavras, apareceram várias matérias, porém foram selecionadas para análise revistas relacionadas a negócios e que possuíam aplicabilidade das tecnologias descritas ao longo do texto. Como o número de resultados no Google após fazer a pesquisa foi muito alto, foram selecionadas reportagens até a página 8. Ao fazer a leitura dos textos, foram separadas as partes mais importantes e que possuem relação com indústria 4.0 e sustentabilidade, em seguida foram descritas de forma resumida neste trabalho.

Posteriormente, conforme o que é relatado com maior frequência pelas empresas como contribuição das tecnologias da Indústria 4.0, foi selecionado as palavras para compor a tabela com as categorias iniciais. A partir da primeira tabela, foram agrupados os resultados e desenvolvidas as tabelas que correspondem às categorias intermediárias. Por fim, as categorias intermediárias são relacionadas e agrupadas em categorias finais. Para concluir a análise de conteúdo, é criada uma tabela em que estão todas as categorias (iniciais, finais e intermediárias) e feito os resultados, transmitindo os conteúdos dos materiais coletados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Revisão Sistemática da Literatura

Inicialmente, a quantidade obtida por meio da busca, apenas com as palavras-chaves “*sustainability and industry 4.0*” foi de 11.802 trabalhos, porém não havia sido aplicado nenhum critério de exclusão. Portanto, os resultados iniciais são gerais e englobam qualquer trabalho, como artigos, livros, entre outros.

Tabela 1: Resultados Iniciais Obtidos

EXPRESSÃO DE BUSCA	QUANTIDADE DE TRABALHOS ENCONTRADOS
Sustainability and Industry 4.0	11.802

Fonte: Elaborado pela autora.

Em seguida, foram utilizados cinco filtros. O primeiro filtro foi “Business & Economics” em “Personalize your results”. O segundo filtro foi a data de publicação entre o ano de 2014 e o ano de 2019. O terceiro filtro aplicado foi selecionar o tipo de recurso “artigos”. O quarto filtro foi “periódicos revisados por pares”. Por último, o filtro “Inglês”. A filtragem resultou em 7.322 artigos. Posteriormente, a seleção de artigos a

serem revisados dependeu de possuir as duas palavras-chaves definidas (*Sustainability and Industry 4.0*) e tratar de operações, o que acabou por reduzir a quantidade de 7.322 para 22 artigos. Os resultados obtidos foram organizados conforme anexo.

Como dito anteriormente, a busca foi feita em inglês, por meio do Portal de Periódico Capes e para que os artigos fossem selecionados, obrigatoriamente deveriam ter “*Sustainability and Industry 4.0*” como palavra-chave. Os artigos encontrados foram considerados na análise (Tabela 2). O Journal com mais publicações conforme a revisão sistemática foi o *Sustainability*.

Tabela 2 – Journals.

JOURNAL	NÚMERO DE ARTIGOS
Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara	1
Benchmarking	1
Computers in Industry	1
IEEE access	1
International Journal of Environmental Research and Public Health	1
Internacional Journal of Innovation Management	1
Journal of Cleaner Production	1
Process Safety and Environmental Protection	4
Social sciences	1
Sustainability	8
Technological Forecasting & Social Change	1
The International Journal Entrepreneurship and Sustainability	1

Fonte: Elaborado pela autora.

Observou-se a data de publicação dos artigos (Tabela 3) e 2018 foi o ano com mais publicações. Com isso, é possível perceber que ainda existem poucas publicações que tratam de operações sustentáveis e indústria 4.0 e as pesquisas que existem são recentes. Portanto, no ano de 2018 pode-se dizer que houve um avanço em estudos publicados tratando dos dois assuntos citados.

Tabela 3 – Anos de publicação.

ANO DE PUBLICAÇÃO	NÚMERO DE ARTIGOS
2016	1
2017	3
2018	12
2019 (até agosto)	6

Fonte: Elaborado pela autora.

A maioria das pesquisas dos artigos revisados são qualitativas, como mostra a Tabela 4. As pesquisas qualitativas são de caráter exploratório, usada para coletar dados e analisá-los, enquanto a pesquisa quantitativa é utilizada por meio de dados numéricos ou estatísticos. Observou-se que, ainda existem poucas publicações sobre indústria 4.0 e operações sustentáveis, o que demonstra ser um assunto novo e que possivelmente haverá avanços nessa área de pesquisa.

Tabela 4 – Tipos de Pesquisa.

QUANTITATIVAS	QUALITATIVAS
4	18

Fonte: Elaborado pela autora.

Foram variadas as metodologias utilizadas nos 22 artigos, sendo entrevista, estudo de caso e revisão sistemática da literatura as mais frequentes nos estudos revisados, provavelmente devido a maior facilidade de buscar informações sobre como as empresas estão colocando em prática as tecnologias. Algumas publicações possuem mais de uma metodologia, portanto, o número de metodologias foi maior que o número de artigos revisados (Tabela 5).

Tabela 5 – Tipos de Pesquisa.

METODOLOGIAS	QUANTIDADE
Questionários	3
Análise de Conteúdo	2
Entrevista	4
Estudo de Caso	4
Revisão Sistemática da Literatura	5
Revisão da Literatura	4
Análise Teórica	1
Aplicação operacional	1

Fonte: Elaborado pela autora.

Os artigos permitiram perceber que as tecnologias advindas da indústria 4.0 fornecerão vantagens competitivas, a produção será mais ecológica, os produtos poderão ser customizados, haverá melhoria na qualidade do produto, monitoramento contínuo da produção, ambiente de trabalho mais seguro, carga de trabalho menos intensa, entre outros fatores.

Tabela 6 – Resultados.

RESULTADOS	QUANTIDADE
Vantagem competitiva	3
Resposta ao cliente mais rápida, com qualidade e flexibilidade	1
Fornecimento de informações detalhadas sobre cada ponto do processo	2
Otimização do uso de recursos e energia	2
Aumenta a flexibilidade	1
Maior eficácia	1
Redução de resíduos	2
Redução nas emissões de poluentes	1
Tomada de decisão mais autônoma	1
Melhora na produtividade	2
Melhora na qualidade do produto	
Monitoramento contínuo do consumo de energia	2
Ambiente de trabalho mais seguro	1
Carga de trabalho menos intensa	1
Enriquecimento profissional	2
Precisão e exatidão na fabricação de produtos	2
Desenvolvimento de produtos ecológicos	1
Processos de fabricação ecológicos	1
Melhora no gerenciamento da cadeia de suprimentos	3
Redução de custos	2
Otimização do tempo	2
Melhor equilíbrio entre vida profissional e pessoal	1
Simplificação de empregos por sistemas tecnológicos	1
Redução de estoques	1
Customização	2

Fonte: Elaborado pela autora.

6.2 Mapeamento de Empresas

São muitas as tecnologias que a Quarta Revolução Industrial promove, dentre elas temos a internet das coisas (Internet of Things – IoT), big data, data analytics, robôs

autônomos, sistemas integrados, sistemas cyber-físicos (Cyber-physical Systems – CPS), computação em nuvem, impressão 3D, entre outros. Os drones são exemplos de avanços tecnológicos que trazem muitas vantagens, dentre elas a facilidade em observar, mapear e tirar fotos aéreas de locais como reserva legal, área de preservação permanente e plantações. As imagens em tempo real permitem antecipar condições ambientais adversas e pragas no campo, por exemplo (GAZETA DO POVO, 2018).

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), até o início do ano de 2018, cerca de 2% das empresas estão inseridas dentro do conceito de Indústria 4.0 (DINO, 2018). Por meio da leitura de reportagens apresentadas no Quadro 1, foi possível identificar cerca de 20 empresas que possuem alguma tecnologia relacionada com a Quarta Revolução Industrial, as quais são: mineradora Vale; montadoras de automóveis como Mercedes-Benz, Volkswagen, Jeep, Ford, Fiat, General Motors, Nissan; a autopeças MWM (Motores); a fabricante de veículos pesados CNH (Case New Holland); a fabricante de aviões Embraer; a cervejaria Ambev; a empresa de software e eletrônicos Microsoft; a empresa de elevadores Thyssenkrupp; as empresas de alumínio Alcoa e Novelis; a empresa de alumínio e energia renovável Hydro; a produtora de componentes estruturais automotivos Iochpe-Maxion; e empresas do segmento de vidro, como a Cebrace, o grupo Saint-Gobain e o NSG, entre outras.

Quadro 1 – Reportagens.

TÍTULO DA REPORTAGEM	LINK
A Quarta Revolução Industrial e o Alumínio	https://revistaaluminio.com.br/a-quarta-revolucao-industrial-e-o-aluminio/
Sustentabilidade na Indústria 4.0	https://www.harbor.com.br/harbor-blog/2019/01/03/sustentabilidade-na-industria-4-0/
Como a Indústria 4.0 pode impactar na gestão de resíduos da sua empresa?	https://www.vgresiduos.com.br/blog/industria-4-0
Indústria 4.0 impulsiona a reciclagem do aço	https://exame.abril.com.br/tecnologia/industria-4-0-impulsiona-a-reciclagem-do-aco/
Entenda como a Indústria 4.0 influencia na sustentabilidade da sua empresa	https://grupomb.ind.br/mbobras/economia-de-energia/industria-4-0-sustentabilidade-empresa/
Em busca da indústria sustentável	http://www.comciencia.br/em-busca-da-industria-sustentavel/
Os efeitos da Indústria 4.0 no Tripé da Sustentabilidade	https://www.gazetadopovo.com.br/vozes/giro-sustentavel/os-efeitos-da-industria-4-0-no-tripe-da-sustentabilidade/
Para garantir competitividade, empresas no Brasil de adaptam à Indústria 4.0	https://www.gazetadopovo.com.br/economia/nova-economia/para-garantir-competitividade-empresas-no-brasil-se-adaptam-a-industria-40-1fdb7cnqjak4gh98hofy8k6ut/
O desafio social e os dilemas ambientais da Indústria 4.0	https://sustentabilidade.estado.com.br/noticias/geral,o-desafio-social-e-os-dilemas-ambientais-da-industria-40,70002071372
Qual o impacto da Indústria 4.0 em relação à sustentabilidade?	http://www.blsistemas.com.br/qual-o-impacto-da-industria-4-0-em-relacao-a-sustentabilidade/
Indústria 4.0 pode gerar economia de R\$ 73 bilhões ao ano	https://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2019/02/industria-40-pode-gerar-economia-de-r-73-bilhoes-ao-ano.shtml
A digitalização e a sustentabilidade trazem um novo conceito: a sustentabilidade 4.0	https://www.consumidormoderno.com.br/2018/10/03/digitalizacao-a-sustentabilidade-em-um-novo-conceito-sustentabilidade-4-0/
Soluções ambientais sustentáveis no desenvolvimento da indústria 4.0	https://allonda.com/blog/sustentabilidade/solucoes-ambientais-sustentaveis-no-desenvolvimento-da-industria-4-0/

Fonte: Elaborado pela autora.

Com uso de sensores para identificação de problemas, digitalização de processos e inteligência artificial, a Vale aumentou em 30% a vida útil dos pneus de caminhões que transportam minério, reduzindo custos, pois em outra situação os pneus seriam trocados em um espaço de tempo menor. O uso de Big Data pela Mercedes-Benz promove a redução do tempo de testes em bancada dos carros e, conseqüentemente, diminui a emissão de dióxido de carbono, contribuindo para a redução na emissão de poluentes (CATAPAN, 2019).

Laboratórios de inteligência artificial existem em algumas empresas e uma delas é Volkswagen. Uma das contribuições desse laboratório é tornar mais eficiente o desenvolvimento de protótipos de veículos (VGRESÍDUOS, 2018). O setor de calçados está buscando padronizar ecologicamente os materiais dos sapatos e otimizar a linha de confecção, diminuindo as chances de erro e, com isso, gerando menos resíduos. Os produtos poderão ser customizados, produzidos em pouco tempo, reduzindo os estoques e o desperdício (PINTO, 2017).

Quando se coloca robôs na linha de produção, o processo se torna mais rápido e, portanto, há otimização do tempo, este é o caso da unidade da Jeep instalada em Pernambuco, onde os carros são montados praticamente sem auxílio, apenas com robôs, produzindo cerca de 45 automóveis por hora. A automação dos processos em indústrias e fábricas faz com que consumam energia apenas quando é necessário operar, ligando e desligando os equipamentos e luzes automaticamente, o que de certa forma promove economia de energia (GRUPO MB, 2019).

Os sensores passam a monitorar constantemente o funcionamento dos equipamentos, detectando problemas com rapidez e eficiência, evitando paradas não programadas, que é o caso da Embraer. Nas fábricas da Ambev, o sistema de resfriamento é feito de forma automatizada e, com isso, as variações de temperatura são evitadas, a qualidade das bebidas é mantida e há economia de energia (GRUPO MB, 2019).

Segundo a empresa McKinsey & Company, reconhecida como a líder mundial no mercado de consultoria empresarial, a Indústria 4.0 irá reduzir os custos com manutenção, reduzir o consumo de energia e aumentar a produtividade do trabalho. A Microsoft desenvolveu um programa que faz uso da inteligência artificial para fornecer recursos computacionais por meio da nuvem para organizações que buscam gerir melhor os recursos naturais. O mecanismo pode ser utilizado para determinar condições do solo, do ar e da água, fornecendo dados importantes para o desenvolvimento de soluções sustentáveis (SENA, 2018).

A indústria brasileira do aço possui painéis que monitoram os níveis de emissão de combustíveis fósseis e se em algum momento o equipamento emitir mais do que o permitido, ele é bloqueado automaticamente até que seja feita a manutenção do mesmo (CONTENT, 2016). A Mercedes-Benz e a Ford passaram a utilizar impressoras 3D no desenvolvimento de peças e exoesqueletos. Dentre as vantagens dessa tecnologia, está a redução de tempo, custos e materiais, uma vez que é utilizado a quantidade exata de matéria-prima na produção. Em Poços de Caldas (MG), a unidade autopeças da ThyssenKrupp possui produtividade alta e índice de refugo baixo, produzindo 700 mil módulos ao ano com apenas 72 funcionários e utilizando sensores, QR Codes, computação em nuvem e sistemas integrados (GAZETA DO POVO, 2018).

A Maissi (Mais Soluções Inteligentes) de Santa Catarina fornece tecnologia de Internet Of Things (IoT) para empresas como a fabricante de alumínio Alcoa e empresas do setor de papel e celulose. Com sensores e radiofrequência, as máquinas comunicam-se entre si e fazem o monitoramento de dados de forma remota. O que antes era controlado de forma manual, atualmente informações como peso da carga, horas trabalhadas, veículos necessários são controlados por equipamentos inteligentes. As vantagens são: precisão, otimização e diminuição na quantidade de veículos, pois há maior eficiência, além de reduzir erros (ROLLI, 2019).

Montadoras como General Motors e Nissan, a autopeças MWM (Motores), a fabricante de veículos pesados CNH (Case New Holland), empresas de logística, de contêineres e do segmento de vidro, como a Cebrace, o grupo Saint-Gobain e o NSG, passaram a usar embalagens inteligentes desenvolvidas pela Reciclapac. A metodologia em questão envolve o monitoramento e reutilização dessas embalagens fundamentado em IoT. Os recipientes possuem sensores, de longo alcance e baixo consumo de bateria, os quais emitem sinais que chegam ao sistema de nuvem e ficam disponíveis na plataforma permitindo saber qual a localização das embalagens. É muito útil para a segurança dos produtos, pois indica se estão nas rotas corretas ou se estão atrasados, por exemplo (ROLLI, 2019).

Conforme a empresa Hydro, quatro frentes são importantes para se aplicar as tecnologias da Indústria 4.0: conhecimento, processo industrial, gestão de ativos e gerenciamento de negócios e pessoas. A empresa faz uso de sensores e conectividade, o que permite acompanhar os processos produtivos mesmo de longe, fazendo uso da digitalização para ter mais qualidade e sustentabilidade. A empresa Iochpe-Maxion faz uso da inteligência artificial e conseguiu reduzir a quantidade de cal utilizada no

tratamento de efluentes. Além dessa tecnologia, também fazem uso da realidade aumentada para suporte em manutenção de máquinas e equipamentos (REVISTA ALUMÍNIO, 2019)

A Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) realiza simulações digitais, impressão 3D e realidade aumentada. Também está em desenvolvimento a robotização de alguns processos, automatização e integração digital via IoT na área de laminação. Para controle operacional dos fornos, a empresa utiliza analytics. No caso da Novelis, são utilizados sensores em toda a operação, tornando possível saber a exatamente a rota dos caminhões, a quantidade de viagens, a velocidade em cada trecho e o tempo de trabalho. Dentre os resultados do uso dessa tecnologia estão o reforço da segurança, a redução no número de máquinas, e, conseqüentemente a redução no consumo de diesel (REVISTA ALUMÍNIO, 2019).

Os processos siderúrgicos utilizam diversos componentes químicos e são poluidores, porém com a Indústria 4.0 alguns aspectos poderão ser aprimorados, como a melhora nos processos de transferência de calor, combustão e gerenciamento de fontes de combustíveis, incluindo fontes alternativas. A interatividade das etapas fabris vai promover a redução de materiais e desperdícios (GOBI, 2018).

O polo automotivo da Fiat, em Betim (Minas Gerais), faz uso da realidade virtual e Internet das Coisas para obter eficiência nos processos produtivos e melhor gestão ambiental. Com o uso dessas tecnologias, foi possível reduzir a quantidade de resíduos gerados, consumir menos energia e menos água para fabricar carros. Na unidade de Prensas, a realidade virtual é utilizada para fazer o recorte das chapas de aço com maior precisão, evitando desperdícios. As partes de aço que sobram são encaminhadas para fornecedores utilizarem como matéria-prima, por exemplo (SCHNEIDER, 2019).

Na Holanda, a fábrica da Philips opera com cerca de 128 robôs e apenas 9 (nove) trabalhadores, os quais são responsáveis por gerenciar a produção de barbeadores elétricos. Portanto, existe uma insegurança com relação a substituição das pessoas pelas máquinas devido ao desemprego que isso pode gerar (GOBI, 2018).

6.2.1 Categorias Iniciais

De acordo com Silva e Fossá (2015), as categoriais iniciais são a primeira impressão sobre o material definido para leitura. Após a análise das reportagens, resultaram do processo de codificação um total de 19 categorias. A partir das principais

características observadas durante o material, foi possível definir as categoriais iniciais, descritas no quadro abaixo.

Quadro 2: Categoria Iniciais

Categorias Iniciais
1 – Redução de custos
2 – Redução de desperdício
3 – Redução de erros
4 – Redução na emissão de poluentes
5 – Redução de estoques
6 – Maior precisão
7 – Maior eficiência
8 – Otimização do tempo
9 – Economia de energia
10 – Melhora no gerenciamento de recursos naturais
11 – Antecipar condições adversas
12 – Monitoramento constante
13 – Visão ampla das operações
14 – Diagnóstico em tempo real
15 - Customização
16 – Qualidade dos produtos
17 – Produção voltada ao cliente
18 – Alteração dos métodos de trabalho
19 – Qualidade de vida no trabalho

Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.2 Categorias Intermediárias

A partir da elaboração das categorias iniciais, elas foram agrupadas conforme suas relações umas com as outras (homogeneidade) e, em seguida, foram criadas 5 categoriais intermediárias: “Fatores Negativos Reduzidos”, “Vantagens Produtivas”, “Gestão da Empresa”, “Características do Produto” e “Trabalhador”. O Quadro 3 corresponde a aglutinação das primeiras 5 categoriais iniciais, resultando na primeira categoria intermediária denominada Fatores Negativos Reduzidos.

Quadro 3: Categoria Intermediária I – Fatores Negativos Reduzidos

Categoria Inicial	Conceito Norteador	Categoria Intermediária
1 – Redução de custos	Evidencia a diminuição dos gastos.	I - Fatores Negativos Reduzidos
2 – Redução de desperdício	Indica que os materiais são usados nas quantidades corretas.	
3 – Redução de erros	Denota que os processos estão com menos falhas.	
4 – Redução na emissão de poluentes	Salienta que os níveis de emissão estão menores.	
5 – Redução de estoques	Evidencia que a gestão está melhor.	

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 4 corresponde a segunda categoria intermediária denominada Vantagens Produtivas, a qual resulta da agregação de 4 categoriais iniciais. Essa categoria evidencia elementos que quando ocorrem no processo produtivo, promovem competitividade e vantagem quando relacionadas com outras empresas.

Quadro 4: Categoria Intermediária II – Vantagens Produtivas

Categoria Inicial	Conceito Norteador	Categoria Intermediária
6 – Maior precisão	Indica mais rigor nos processos.	II - Vantagens produtivas
7 – Maior eficiência	Evidencia melhor rendimento.	
8 – Otimização do tempo	Denota o bom aproveitamento do tempo e processos mais rápidos.	
9 – Economia de energia	Salienta o uso de luzes e equipamentos apenas quando necessário.	

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 5 reúne cinco categoriais iniciais, as quais dão origem a terceira categoria intermediária denominada Gestão da Empresa. Todas as categoriais selecionadas relacionam entre si por serem aspectos que quando colocados em prática dentro das organizações, fornece muitos dados para uma melhor gestão em diversos fatores, por exemplo: quantidade de matéria-prima e quando tomar atitudes diferentes dentro do processo produtivo.

Quadro 5: Categoria Intermediária III – Gestão da Empresa

Categoria Inicial	Conceito Norteador	Categoria Intermediária
10 – Melhora no gerenciamento de recursos naturais	Indica a existência de facilitadores para o gerenciamento.	III - Gestão da Empresa
11 – Antecipar condições adversas	Evidencia a diminuição dos gastos.	
12 – Monitoramento constante	Indica que os materiais são usados nas quantidades exatas.	
13 – Visão ampla das operações	Denota que os processos estão com menos falhas.	
14 – Diagnóstico em tempo real	Salienta que os níveis de emissão estão menores.	

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 6 concentra três categoriais iniciais, que resultam na categoria intermediária nomeada “Características do Produto”. Essa categoria está relacionada com o que será fabricado e como será. Com a Indústria 4.0, os produtos poderão ser customizados com maior facilidade e com melhor qualidade, pois o material usado será na quantidade certa, o processo será monitorado do início ao fim, diminuindo as chances de erros. Além disso, a produção será voltada para o cliente, trazendo maior satisfação ao comprar um produto que seja realmente como gostaria.

Quadro 6: Categoria Intermediária IV – Características do Produto.

Categoria Inicial	Conceito Norteador	Categoria Intermediária
15 - Customização	Evidencia que os produtos podem ser personalizados.	IV - Características do Produto
16 – Qualidade dos produtos	Evidencia melhoras nos resultados da produção.	
17 – Produção voltada ao cliente	Salienta a atenção às preferências dos clientes	

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 7 une as duas últimas categorias iniciais e dão origem a última categoria intermediária, a qual foi denominada “Trabalhador”. Essa última categoria está relacionada com as questões sociais, pois a Quarta revolução Industrial promove alteração dos métodos de trabalho, tornando algumas funções não mais necessárias na produção, mas trará qualidade de vida no trabalho dentro dos empreendimentos, por tornar o serviço menos exaustivo fisicamente.

Quadro 7: Categoria Intermediária V – Trabalhador.

Categoria Inicial	Conceito Norteador	Categoria Intermediária
18 – Alteração dos métodos de trabalho	Evidencia mudanças na forma de trabalho	V – Trabalhador
19 – Qualidade de vida no trabalho	Indica melhoras na condição de trabalho	

Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.3 Categorias Finais

Com base nas categoriais iniciais e intermediárias, são criadas as categorias finais. A parte final é constituída por duas categorias nomeadas “Gestão dos Recursos e Sistema de Produção” e “Características dos Produtos e Condições Humanas”. O Quadro 8

corresponde a primeira categoria final nomeada Processo Produtivo e que resulta da união de três categorias intermediárias. Ela está relacionada com as características das organizações no processo fabril/industrial.

Quadro 8: Categoria Final I – Gestão dos Recursos e Sistema de Produção.

Categoria Intermediária	Conceito Norteador	Categoria Final
I. Fatores Negativos Reduzidos	Indica alterações positivas na empresa	I – Gestão dos Recursos e Sistema de Produção
II. Vantagens Produtivas	Evidencia aspectos positivos no processo produtivo	
III. Gestão da Empresa	Salienta melhora nas condições de gestão	

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 9 une duas categorias intermediárias, as quais dão origem a última categoria final, denominada “Características dos Produtos e Condições Humanas”. A relação entre as categorias intermediárias em questão, é pelo fato de que ambas estão voltadas para a satisfação das pessoas com relação ao emprego e ao produto.

Quadro 9: Categoria Final II – Características dos Produtos e Condições Humanas.

Categoria Intermediária	Conceito Norteador	Categoria Final
IV. Características do Produto	Indica mudanças nos produtos	II - Características dos Produtos e Condições Humanas
V. Trabalhador	Salienta os fatores humanos	

Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.4 Síntese da Progressão das Categorias

De forma a reunir as categorias e facilitar o entendimento de como ocorreu a progressão, foi feito o quadro abaixo com todas as categorias definidas (Quadro 10). Partiu-se de 19 categorias iniciais, que deram origem a 5 categorias intermediárias, que resultaram em 2 categorias finais.

Quadro 10: *Categorias de Análise de Conteúdo*

Iniciais	Intermediárias	Finais
1 – Redução de custos	I - Fatores Negativos Reduzidos	I – Gestão dos Recursos e Sistema de Produção
2 – Redução de desperdício		
3 – Redução de erros		
4 – Redução na emissão de poluentes		
5 – Redução de estoques		
6 – Maior precisão	II - Vantagens Produtivas	
7 – Maior eficiência		
8 – Otimização do tempo		
9 – Economia de energia		
10 – Melhora no gerenciamento de recursos naturais	III - Gestão da Empresa	
11 – Antecipar condições adversas		
12 – Monitoramento constante		
13 – Visão ampla das operações		
14 – Diagnóstico em tempo real		
15 – Customização	IV – Características do Produto	II – Características dos Produtos e Condições Humanas
16 – Qualidade dos produtos		
17 – Produção voltada ao cliente	V – Trabalhador	
18 – Alteração dos métodos de trabalho		
19 – Qualidade de vida no trabalho		

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a aplicação da Análise de Conteúdo pela metodologia de Bardin (1977), foi possível identificar algumas mudanças que a indústria 4.0 provocará nos três pilares da sustentabilidade: econômico, social e ambiental. Para que esta revolução industrial promova ambientes inteligentes, é preciso o uso consciente de recursos e atenção aos efeitos da atividade industrial, visando não somente ganhos financeiros, mas também atender aos outros pilares.

Um dos pilares da sustentabilidade é o social, sendo ainda muito discutido, pois muitas funções serão substituídas, principalmente por robôs, enquanto outras serão criadas. Porém, ainda não é possível dizer o quão negativo ou positivo será, nem se haverá mais desemprego ou emprego. Entende-se que será preciso maior qualificação da mão-de-obra, já que o ser humano continua sendo essencial no processo, mas de uma maneira mais inteligente, pois ficarão mais responsáveis pela gestão das empresas. Outro fator importante é a melhora na qualidade de vida dentro das organizações, pois haverá menor esforço físico e menores riscos, já que as máquinas farão os trabalhos mais desgastantes.

Enquanto a atividade industrial será mais eficiente, com menos falhas durante o processo e menor quantidade de resíduos gerados, 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. 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. 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 de alternativa de energia com redução de consumo, entre outros.

A automação e digitalização dos processos industriais faz com que haja economia de energia, otimização do tempo, redução de erros e, conseqüentemente, redução de custos. Portanto, com relação ao pilar econômico, a Quarta revolução Industrial permite maior precisão dos processos e visão ampla das operações, evitando perdas de materiais. 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.

As principais tecnologias que são citadas pelos autores dos artigos utilizados como referência e que estão sendo aplicadas dentro das empresas são: sensores, digitalização, inteligência artificial, *big data*, customização, robôs, automatização, nuvem, impressão 3D, Internet das Coisas e realidade virtual. No geral, as ferramentas provenientes da

Indústria 4.0 estão sendo aplicadas, não necessariamente em sua totalidade, pois cada empresa implementa em seu sistema aquilo que mais lhe convém.

O que na teoria a Indústria 4.0 promove e o que já foi colocado em prática, demonstra bons resultados e coerência. Portanto, a Quarta Revolução Industrial poderá auxiliar as organizações a obterem efeitos satisfatórios na questão ambiental, melhorando os processos, tornando-os mais eficientes, flexíveis, produzindo conforme a demanda, diminuindo desperdícios e aumentando a qualidade dos produtos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Indústria 4.0 será muito importante para as organizações de modo geral. Após a leitura de artigos e reportagens, foi possível perceber que esta revolução industrial mostrará que a produção associada com a sustentabilidade poderá trazer benefícios não somente para as empresas, como também para o meio ambiente. Os recursos naturais podem ser utilizados de forma inteligente, diminuindo o desperdício e reaproveitando materiais se as empresas investirem nisso e reconhecerem que também haverá vantagens econômicas.

Com relação à sustentabilidade, a Quarta Revolução Industrial contribuirá de forma positiva em diversos aspectos, enquanto outros ainda são difíceis de mensurar, como no pilar social, em que algumas funções não existirão mais e outras poderão vir a existir. Portanto, é necessário a qualificação da mão-de-obra para que as pessoas consigam trabalhar em meio a tecnologia. No pilar ambiental, as tecnologias inteligentes facilitarão com que as empresas tornem as operações mais sustentáveis, pois ocorrerá a otimização do processo produtivo, haverá monitoramento constante e menos resíduos serão gerados na produção, por meio da Impressão 3D, por exemplo. E por último, o pilar econômico, no qual as tecnologias permitirão maior eficiência e otimização do tempo, reduzindo perdas dentro das empresas.

Os objetivos deste trabalho foram atingidos, porém com algumas dificuldades, dentre elas a quantidade de artigos e publicações que correlacionavam “Indústria 4.0” e “Sustentabilidade” ser bem limitada. A maioria das publicações tratam das ferramentas advindas da revolução e quais as mudanças na economia das empresas e no mercado. Além disso, como a Quarta Revolução Industrial ainda está sendo implementada, não é possível prever todos os impactos que serão causados. Por exemplo, como haverá substituição de funções por tecnologias, algumas pessoas perderão seus cargos.

A formação em engenharia ambiental contribuirá para que os processos sejam mais sustentáveis, ao integrar as dimensões ambiental, social, econômica e tecnológica, resultando em melhor uso dos recursos naturais. As metodologias desenvolvidas pelos Engenheiros Ambientais, como a gestão de resíduos, podem ser potencializadas pelas tecnologias provenientes da Indústria 4.0, partindo da ideia de que um profissional inserido no processo produtivo pode vir a introduzir ferramentas oriundas da quarta revolução, visando vantagens para a empresa e minimizando o desperdício, como a impressora 3D.

REFERÊNCIAS

A QUARTA revolução industrial e o alumínio. **Inovação e Sustentabilidade – Alumínio**, 2019. Disponível em: <<https://revistaaluminio.com.br/a-quarta-revolucao-industrial-e-o-aluminio/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

ANDERL, R. Industrie 4.0: Advanced engineering of smart products and smart production. International Seminar on High Technology. **Anais**. Piracicaba. 2014.

BAHRIN, M.; OTHMAN, F.; AZLI, N.; TALIB, M. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. Journal Teknologi, [s.l.], v. 78, n.6-13, p.137–143, 2016.

BARDIN, L. Análise de Conteúdo. Editora: Presses Universitaires de France, 1977.

BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1245-1252, 2017.

BEIER, G., NIEHOFF, S., ZIEMS, T., XUE, B. Sustainability aspects of a digitalized industry—A comparative study from China and Germany. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology**. v. 4, n. 2, p. 227-234, 2017.

BLUNK, E. WERTHMANN, H. Industry 4.0 – an opportunity to realize sustainable manufacturing and its potential for a circular economy. **DIEM : Dubrovnik International Economic Meeng**. Vtiol.3 No.1 , p. 644-666. Listopad 2017.

BUXMANN, P.; HESS, T.; e RUGGABER, R. (2009). **Internet of Services**. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12599-009-0066-z>>. Acesso em: 10 de Maio de 2019.

CATAPAN, E. Sustentabilidade na Indústria 4.0. **HarboR Informática Industrial**, 2019. Disponível em: <<https://www.harbor.com.br/harbor-blog/2019/01/03/sustentabilidade-na-industria-4-0/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

CAVALCANTI, V. Y. S. de L.; SOUZA, G. H. de; SÓDRE, M. A. C.; ABREU, M. S. D. de; MACIEL, T. da S.; SILVA, J. M. de A. Indústria 4.0: Desafios e Perspectivas na Construção Civil. **Revista Campo do Saber**, v. 4, n. 4, p. 146-158.

COMO a Indústria 4.0 pode impactar na gestão de resíduos da sua empresa?. **VGRESÍDUOS**, 2018. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/industria-4-0>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

CONTENT, A. B. Indústria 4.0 impulsiona a reciclagem do aço. **Exame**, 2016. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/tecnologia/industria-4-0-impulsiona-a-reciclagem-do-aco/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

DINO. Menos de 2% das empresas atuam no conceito da Indústria 4.0. **Exame**, 2018. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/dino/menos-de-2-das-empresas-atuam-no-conceito-da-industria-40/>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

ENTENDA como a Indústria 4.0 influencia na sustentabilidade de sua empresa. **Grupo MB –Artigos**, 2019. Disponível em: <<https://grupomb.ind.br/mbobras/economia-de-energia/industria-4-0-sustentabilidade-empresa/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

EROL, S. Where is the green in Industry 4.0? or How information systems can play a role in creating intelligent and sustainable production systems of the future. First Workshop on Green (Responsible, Ethical, Social/Sustainable) IT and IS – the Corporate Perspective (GRES-IT/IS), Volume: Working Papers on Information Systems, Information Business and Operations, Department of Information Systems and Operations, WU Vienna, 2/2016.

ESMAEILIAN, B.; BEHDAD, S.; WANG, B. The evolution and future of manufacturing: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 39, p. 79-100, 2016.

FUSCO, J. P. A.; SACOMANO, J. B. Operações e Gestão Estratégica da Produção. São Paulo: Arte & Ciência, 2007.

GABRIEL, M.; PESSL, E. Industry 4.0 and sustainability impacts: critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. **Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara**, v. 14, n. 2, p. 131, 2016.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiol. Serv. Saúde*, Brasília, 23(1):183-184, jan-mar 2014.

GOBI, A. Em busca da indústria sustentável. **Com Ciência – Revista Eletrônica de Jornalismo Científico**, 2018. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/em-busca-da-industria-sustentavel/>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review, **Working Paper** N°. 01, 2015.

INDÚSTRIA 4.0 e Sustentabilidade. **AGPR5**, 2018. Disponível em: <<https://www.agpr5.com/noticias/industria-4-0-e-a-sustentabilidade>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

JAYAL, A. D.; BADURDEEN, F.; DILLON, O. W.; JAWAHIR, I. S. Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 2, n. 3, p. 144-152, 2010.

JORNAL DIÁRIO DO AÇO. **Ind 4.0 Manufatura Avançada**, 2019. Notícias. Disponível em <<https://www.industria40.ind.br/noticias/19005-sustentabilidade-e-a-industria-40>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

LOZANO, R. Towards better embedding sustainability into companies' systems: An analysis of voluntary corporate initiatives. *Journal of Cleaner Production*. v. 25, p. 14-26. 2012.

OLIVEIRA, F. T. de; SIMÕES, W. L. A Indústria 4.0 e a Produção no Contexto dos Estudantes da Engenharia. **Simpósio de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Goiás**. Catalão. 2017.

OS efeitos da Indústria 4.0 no Tripé da Sustentabilidade. **Gazeta do Povo**, 2018. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vozes/giro-sustentavel/os-efeitos-da-industria-4-0-no-tripe-da-sustentabilidade/>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

PARA garantir competitividade, empresas no Brasil se adaptam à Indústria 4.0. **Gazeta do Povo**, 2018. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/economia/nova-economia/para-garantir-competitividade-empresas-no-brasil-se-adaptam-a-industria-40-1fdb7cnqjak4gh98hofy8k6ut/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

PEREIRA, A.; SIMONETTO, E. de O.; Indústria 4.0: Conceitos e Perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.

PEREIRA, E. M. de B. Os Indicadores Ocupacionais como Critérios de Modelos de Sustentabilidade Empresarial em Cidades Globais. **Escola de Engenharia. Universidade do Milho**. 2018.

PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, [s.l.],v. 34, n.1, p.185-202, 2010.

PINTO, L. O desafio social e os dilemas ambientais da Indústria 4.0. **ESTADÃO**, 2017. Disponível em: <<https://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,o-desafio-social-e-os-dilemas-ambientais-da-industria-40,70002071372>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

QUAL o impacto da Indústria 4.0 em relação à sustentabilidade?. **Brasil Logic Sistemas**, 2019. Disponível em: <<http://www.blsistemas.com.br/qual-o-impacto-da-industria-4-0-em-relacao-a-sustentabilidade/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

RIBEIRO, J. M. O Conceito da Indústria 4.0 na Confeção: Análise e Implementação. **Escola de Engenharia. Universidade do Milho**. 2017.

ROLLI, C. Internet das Coisas - Indústria 4.0 pode gerar economia de R\$ 73 bilhões ao ano. **Folha de S. Paulo**, 2019. Disponível em:

<<https://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2019/02/industria-40-pode-gerar-economia-de-r-73-bilhoes-ao-ano.shtml>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

ROSEN, M. A.; KISHAWY, H. A. Sustainable manufacturing and design: Concepts, practices and needs. **Sustainability**, v. 4, n. 2, p. 154-174, 2012.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: Um guia para síntese criteriosa da evidencia científica. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, jan/fev. 2007.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v.4, n.1, p.111-124, 2018.

SCHNEIDER, D. Sustentabilidade: O único caminho possível para o futuro. **DRAFT**, 2019. Disponível em: < <https://www.projtodraft.com/sustentabilidade-o-unico-caminho-para-o-futuro/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

SENA, N. A digitalização e a sustentabilidade trazem um novo conceito: a sustentabilidade 4.0. **Consumidor Moderno**, 2018. Disponível em: <<https://www.consumidormoderno.com.br/2018/10/03/digitalizacao-a-sustentabilidade-em-um-novo-conceito-sustentabilidade-4-0/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

SHAFIQ, S. I.; SANIN, C.; SZCZEBICKI, E.; TORO, C. Virtual engineering object/virtual engineering process: a specialized form of cyber physical system for Industrie 4.0. **Procedia Computer Science**, v. 60, p. 1146-1155, 2015.

SHULES, M. V. Proposta de Diagnóstico para Adoção das Tecnologias da Indústria 4.0 em um Processo Produtivo com Base em Indicadores de Sustentabilidade: Um Estudo de Caso. **Universidade Federal do Paraná**. Curitiba. 2018.

SHULTE, N. K.; LOPES, L. Sustentabilidade Ambiental: Um Desafio Para a Moda. **Modapalavra e-periódico**. Ano 1, n. 2, ago-dez 2008, pp. 30 – 42.

SILVA, A. H.; FOSSÁ, M. I. T. Análise de Conteúdo: Exemplos de Aplicação da Técnica para Análise de Dados Qualitativos. **Qualit@s Revista Eletrônica**, Vol.17. No 1 (2015).

SOLUÇÕES ambientais sustentáveis no desenvolvimento da Indústria 4.0. **Allonda Ambiental**, 2019. Disponível em: <<https://allonda.com/blog/sustentabilidade/solucoes-ambientais-sustentaveis-no-desenvolvimento-da-industria-4-0/>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. **ScienceDirect**, v. 40, 2016, p. 536-541.

SCHWAG, K. A Quarta Revolução Industrial. 1ª edição. Editora: Edipro, 2016.

TARTAROTTI, L.; SIRTORI, G.; LARENTIS, F. Indústria 4.0: Mudanças e Perspectivas. **Universidade de Caxias do Sul**. 2018.

THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG). Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries. Alemanha, 2015.

TORRESI, S. I. C. de; PARDINI, V. L.; FERREIRA, V. F. O que é sustentabilidade? **Química Nova**, v. 33, n. 1, 5, 2010.

VENTURINI, L. D. B.; LOPES, L. F. D. O modelo *Triple Bottom Line* e a sustentabilidade na administração pública: pequenas práticas que fazem a diferença. **Universidade Federal de Santa Maria**. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/11691/Venturini_Lauren_Dal_Bem.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 06 dez. 2019.

ZHOU, K.; LIU, T.; ZHOU, L. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: **Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2015 12th International Conference on**. IEEE, 2015. p. 2147-2152.

ANEXO: Revisão Sistemática.

Nº	Título	Autores	Ano	Journal	Objetivo	Metodologia	Resultados
1	Industry 4.0 and sustainability impacts: critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences	Gabriel, Magdalena; Pessl, Ernst	2016	Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara Vol.14(2), pp.131-136 [Periódico revisado por pares]	O objetivo deste artigo é discutir os possíveis impactos sociais e ambientais da indústria 4.0, com foco nas pequenas e médias empresas e referência a um estudo empírico.	Definições e histórico de todas as revoluções industriais - da 1ª à quarta. Depois disso, é discutido como essa nova abordagem pode influenciar a perspectiva social e ambiental da sustentabilidade. Para aplicar esses aspectos teóricos, o próximo capítulo enfoca os impactos na sustentabilidade baseados no Setor	O aumento da automação pode fornecer uma vantagem competitiva. Com a Indústria 4.0 a resposta ao cliente se tornará mais rápida, com qualidade e flexibilidade. A Indústria 4.0 pode fornecer suporte por meio de gerenciamento contínuo de energia e recursos, por fornecer informações detalhadas sobre cada ponto do processo de

						4.0. Isso se refere à literatura atual e a um estudo empírico realizado neste campo na Áustria, com questionários.	produção, uso de recursos e energia pode ser otimizado em toda a rede de valor.
2	A Cross-Strait Comparison of Innovation Policy under Industry 4.0 and Sustainability Development Transition	Kuan Chung Lin; Joseph Z. Shyu; Kun Ding	2017	Sustainability Vol.9(5), p.786 [Periódico revisado por pares]	Este projeto de pesquisa adota uma análise descritiva com estatística descritiva sob a estrutura da política de inovação proposta por Rothwell e	Coleta de dados, análise qualitativa de conteúdo e das estatísticas, uso de abordagem de correspondência de padrões.	Tanto a China quanto Taiwan tendem a se concentrar mais nas políticas ambientais, porque as vantagens da concorrência industrial podem ser aprimoradas com a atualização do ambiente industrial.

					Zegveld. Este relatório também informa uma análise de política comparativa na China e Taiwan.		
3	On sustainable production networks for industry 4.0	Prause, Gunnar; Atari, Sina	2017	The International Journal ENTREPRENEURSHIP AND SUSTAINABILITY ISSUES Vol. 4	O artigo investiga a relação entre redes, desenvolvimento organizacional, condições de estrutura estrutural e sustentabilidade no contexto da Indústria 4.0. A pesquisa é validada empiricamente	A metodologia da pesquisa foi baseada em uma abordagem exploratória mista, usando métodos qualitativos de estudo de caso, juntamente com entrevistas semiestruturadas com especialistas,	Ao transferir os resultados no contexto da Indústria 4.0, constatou-se que uma abordagem em rede bem-sucedida exige liberdade intraempreendedora no sentido da abordagem de "empresendedorismo enxuto" de Ries, um poder de decisão local adequado e padrões

					usando amostras de dados de um projeto de reengenharia de negócios em uma empresa de manufatura de alta tecnologia com operação internacional localizada na Estônia.	bem como análise quantitativa de dados internos de processos de negócios.	organizacionais, bem como um fornecimento adequado de informações. No contexto da Indústria 4.0, essas condições de estrutura precisam ser mais desenvolvidas para estruturas da cadeia de suprimentos ágeis e suscetíveis, "folga organizacional" e recursos dinâmicos.
4	Sustainable Industrial Value Creation:	Kiel, Daniel; Müller, Julian M; Arnold,	2017	International Journal of Innovation Management	Este artigo tem como objetivo apresentar uma	Empregou-se uma abordagem exploratória de	O estudo contribui para o corpo escasso da literatura científica

	benefits and challenges of industry 4.0	Christian; Voigt, Kai-Ingo		Vol.21(8) [Periódico revisado por pares]	imagem abrangente e estruturada dos benefícios e desafios econômicos, ecológicos e sociais relacionados à Internet Industrial das Coisas (IioT).	estudo de caso múltiplo com base em entrevistas semiestruturadas de especialistas em 46 empresas de manufatura de três principais indústrias alemãs.	da IioT, analisando as implicações da IioT de acordo com o TBL. Mostrou-se que, para se qualificar para a criação sustentável de valor industrial, a IioT exige uma extensão do TBL estabelecido por três dimensões adicionais, ou seja, integração técnica, dados e informações e contexto público.
5	What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and	Julian Marius Müller; Daniel Kiel; Kai-Ingo Voigt	2018	Sustainability	Mostra-se que a percepção das oportunidades e desafios	Coleta e amostra de dados; Projeto de pesquisa quantitativa.	Os resultados mostram que as oportunidades estratégicas,

	Challenges in the Context of Sustainability			Vol.10(1), p.247 [Periódico revisado por pares]	relacionados ao setor 4.0 como antecedentes da implementação do setor 4.0 depende de diferentes características da empresa.		operacionais, ambientais e sociais são fatores positivos da implementação da Indústria 4.0, enquanto os desafios relacionados à competitividade e viabilidade futura, bem como ao ajuste organizacional e de produção, impedem seu progresso.
6	Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies	Luthra, Sunil; Mangla, Sachin Kumar	2018	Process Safety and Environmental Protection	Este artigo tem como objetivo reconhecer os principais desafios para a indústria 4.0, as	Realizou-se revisão sistemática da literatura com palavras-chaves e nos bancos de	Os resultados do estudo revelaram que os desafios organizacionais têm a maior importância, seguidos pelos

				Vol.117, pp.168-179 [Periódico revisado por pares]	iniciativas e analisar os principais desafios identificados para priorizá-los para uma indústria 4.0 eficaz, com conceitos de sustentabilidade da cadeia de suprimentos em economias emergentes e perspectiva da indústria de transformação.	dados Scopus, GoogleScholar e Google. Foram feitos questionários no setor industrial indiano. Utilizou-se o método de Processo de Hierarquia Analítica.	desafios tecnológicos, desafios estratégicos e questões jurídicas e étnicas.
7	When titans meet -- Can industry 4.0 revolutionise the	de Sousa Jabbour, Ana Beatriz Lopes;	2018	Technological Forecasting & Social Change	Este é um dos primeiros trabalhos a	Propõe uma estrutura integrativa	Indústria 4.0 pode impulsionar manufatura

	<p>environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. (Report)</p>	<p>Jabbour, Charbel Jose Chiappetta; Foropon, Cyril; Godinho Filho, Moacir</p>		<p>Vol.132, pp.18-25 [Periódico revisado por pares]</p>	<p>determinar se a Indústria 4.0 pode ou não impulsionar sinergicamente a fabricação ambientalmente sustentável, com ênfase nos fatores críticos de sucesso que podem representar desafios e oportunidades para esse processo.</p>	<p>contendo doze proposições de pesquisa. Espera-se que isso estimule o debate sobre a interseção de ondas de manufatura. É feita análise de conteúdo.</p>	<p>ambientalmente sustentável, permitindo o desenvolvimento de produtos ecológicos, processos de fabricação ecológicos e gerenciamento da cadeia de suprimentos como nunca antes. No entanto, a sinergia entre Indústria 4.0 e manufatura ambientalmente sustentável depende de fatores críticos de sucesso.</p>
--	---	--	--	---	--	--	--

8	Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives	Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives	2018	Process Safety and Environmental Protection Vol.117, pp.408-425 [Periódico revisado por pares]	85 artigos selecionados foram classificados em cinco categorias de pesquisa, a saber, documentos conceituais sobre Indústria 4.0, interações homem-máquina, interações máquina-equipamento, tecnologias da Indústria 4.0 e sustentabilidade.	Revisão sistemática, na qual tentou buscar respostas para as duas perguntas a seguir: (1) Quais são as diferentes abordagens de pesquisa costumava estudar Indústria 4.0? e (2) Qual é o status atual da pesquisa nos domínios da Indústria 4.0?	O resultado desta pesquisa indica que a Indústria 4.0 é uma área emergente com um aumento no número de publicações nos últimos anos poucos anos. O uso de abordagens empíricas de pesquisa para demonstrar e validar os sistemas, processos e tecnologias foram frequentemente observados.
9	An Empirical Investigation of the	Poorya Ghafoorpoor	2018	Sustainability	O objetivo desta pesquisa é	O estudo utilizou o tempo de	Em geral, a redução nos gastos de tempo

	Relationship between Overall Equipment Efficiency (OEE) and Manufacturing Sustainability in Industry 4.0 with Time Study Approach	Yazdi; Aydin Azizi; Majid Hashemipour		Vol.10(9), p.3031 [Periódico revisado por pares]	verificar o desempenho geral e estudar a implementação de um sistema sustentável e inteligente de manuseio de materiais. Além disso, reconhecer e analisar fatores efetivos na sustentabilidade de processos aprimorados.	utilização dos dispositivos como a chave para medir o desempenho. Os dados quantitativos necessários foram coletados usando o software Prottime Estimation como ferramenta de estudo do tempo.	excedente, adiamento de investimentos de capital maior, redução no tempo de inatividade / tempo ocioso e melhoria no desempenho do operador são os benefícios do OEE para as PME.
10	Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment	Stock, Tim; Obenaus, Michael; Kunz, Sascha; Kohl, Holger	2018	Process Safety and Environmental Protection	O artigo avaliou o potencial de criação de valor industrial na Indústria 4.0 em	O potencial para criação de valor sustentável na Indústria 4.0 é avaliado	Os fatores de criação de valor podem contribuir positivamente para a dimensão ecológica

	of its ecological and social potential			Vol.118, pp.254-267 [Periódico revisado por pares]	termos de sua contribuição para um desenvolvimento sustentável. A ênfase da investigação foi colocada na dimensão ambiental e social da sustentabilidade.	qualitativamente para uma perspectiva macro e micro com base em uma revisão de literatura e entrevistas com especialistas.	da sustentabilidade na maioria dos casos. Podem ser esperados benefícios na dimensão social como o enriquecimento do trabalho, uma educação mais eficaz dos trabalhadores e um melhor equilíbrio entre vida profissional e pessoal. Impactos negativos podem ocorrer como a simplificação de empregos por sistemas tecnológicos.
--	--	--	--	---	---	--	--

11	Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges	Silvia H. Bonilla; Helton R. O. Silva; Marcia Terra Da Silva; Rodrigo Franco Gonçalves; José B. Sacomano	2018	Sustainability Vol.10(10), p.3740 [Periódico revisado por pares]	É realizada uma análise baseada na literatura para discutir o impacto e os desafios de sustentabilidade da indústria 4.0 em quatro cenários diferentes: implantação, operação e tecnologias, integração e conformidade com as metas de desenvolvimento sustentável e cenários de longo prazo.	Análise teórica para avaliar os impactos positivos e negativos do contexto de produção da Indústria 4.0 nos aspectos de sustentabilidade ambiental.	Muitos fatores podem influenciar o desenvolvimento a longo prazo da Indústria 4.0. No entanto, acredita-se que o grau de sinergia alcançado entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável sociais e ambientais e a distribuição geográfica homogênea da tecnologia serão decisivos na interação proativa com a sustentabilidade ambiental.
----	---	--	------	--	---	---	--

12	Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains	Ding, Baoyang	2018	Process Safety and Environmental Protection Vol.119, pp.115-130 [Periódico revisado por pares]	O principal objetivo deste estudo é identificar as possíveis barreiras à sustentabilidade da cadeia de suprimentos farmacêuticos (PSC) e investigar como a Indústria 4.0 pode ser aplicado nos paradigmas sustentáveis da PSC.	Este artigo analisa sistematicamente 33 artigos relevantes sobre PSC sustentável e Indústria 4.0, retirados de revistas acadêmicas e revisadas por pares ao longo de uma década (2008-2018).	Principais desafios que inibem a inclusão da sustentabilidade nas PSCs são: altos custos e consumo de tempo, pouca experiência e treinamento, aplicação de regulamentos, a escassez de incentivos comerciais, falta de conscientização do cliente final, entre outros. Tecnologias e inovações baseadas na indústria 4.0 podem resolver essas barreiras com relação
----	---	---------------	------	--	--	--	---

							a quatro aspectos: aumentar a flexibilidade da PSC, melhorar a eficácia da coordenação e comunicação entre diferentes entidades dentro do PSC; mitigação de resíduos e poluição em diferentes estágios; e permitindo uma tomada de decisão mais autônoma processo para os gerentes da cadeia de suprimentos.
13	Exploring Organizational Sustainability of	Alessio Maria Braccini; Emanuele	2018	Sustainability	A investigação considerou a adoção do I40 em	O estudo de caso triangula diferentes fontes	As aplicações I40 suportam o resultado triplo por meio da

	Industry 4.0 under the Triple Bottom Line: The Case of a Manufacturing Company	Gabriel Margherita		Vol.11(1), p.36 [Periódico revisado por pares]	uma empresa de manufatura em que foi analisado como um único estudo de caso. Descreveu-se o nível de adoção da I40 e o processo pelo qual a unidade os adotou.	de dados: entrevistas semiestruturadas, observações na linha de produção e utilização de dados secundários.	melhoria da produtividade e da qualidade do produto (econômica), monitoramento contínuo do consumo de energia (ambiental), ambiente de trabalho mais seguro e carga de trabalho menos intensa e enriquecimento profissional (social).
14	Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0	Kumar, Ravi; Singh, Surya Prakash; Lamba, Kuldeep	2018	Journal of Cleaner Production Vol.204, pp.643-659 [Periódico revisado por pares]	O objetivo do artigo é propor uma metodologia para resolver um problema robusto e sustentável de	A abordagem proposta para projetar sistemas de layout robusto e sustentáveis das instalações	Um design de layout industrial robusto e sustentável é capaz de lidar com as variações e é visto como o primeiro passo para a

					layout de instalações celulares estocásticas (RSCFLP).	celulares estocásticas (RSCFL sustentável) é dividido em três fases. No papel, dez alternativas de layout são geradas resolvendo um modelo RSCFLP usando abordagem meta-heurística incorporada baseada em SA.	Indústria 4.0 para manter a fabricação precisa de produtos no devido tempo. O design inadequado do layout diminui a precisão e exatidão na fabricação de produtos e aumenta o tempo de produção.
15	Industry 4.0 and supply chain sustainability:	Bag, S.; Telukdarie, A.; Pretorius, J.H.C.; Gupta, S.	2018	Benchmarking [Periódico revisado por pares]	O objetivo deste artigo é identificar os facilitadores da	Revisão sistemática de literatura no campo da	Os principais facilitadores do setor 4.0 de sustentabilidade da

	framework and future research directions				Indústria 4.0 de sustentabilidade da cadeia de suprimentos e tentar propor uma estrutura de pesquisa para preencher as lacunas teóricas.	Indústria 4.0 e no gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos. A lista de artigos foi baixada do banco de dados Scopus.	cadeia de suprimentos são: o apoio do governo e de institutos de pesquisa e universidades; leis e políticas relativas ao emprego; padrões e segurança de TI aprimorados; compromisso de gestão; foco no capital humano; mudar a gestão; integração horizontal; integração vertical; padronização.
16	IoT Heterogeneous Mesh Network Deployment for Human-in-the-Loop	Garrido-Hidalgo, Celia; Hortelano, Diego; Roda-Sanchez, Luis; Olivares,	2018	IEEE Access	Este trabalho investiga as principais tecnologias de	Experimentos e testes realizados para verificar o desempenho de	Como um resultado, atingiu-se um grande desafio para a Indústria 4.0: fusão

	Challenges Towards a Social and Sustainable Industry 4.0	Teresa; Ruiz, M. Carmen; Lopez, Vicente		Vol.6, pp.28417-28437 [Periódico revisado por pares]	IoT que permitem redes colaborativas em ambientes da Indústria 4.0.	diferentes subsistemas definidos na rede.	de máquinas humanas com fábricas sociais e sustentáveis.
17	Development of a Risk Framework for Industry 4.0 in the Context of Sustainability for Established Manufacturers	Hendrik S. Birkel; Johannes W. Veile; Julian M. Müller; Evi Hartmann; Kai-Ingo Voigt	2019	Sustainability Vol.11(2), p.384 [Periódico revisado por pares]	O artigo propõe uma estrutura de riscos no contexto da Indústria 4.0, relacionada à linha de fundo triplo da sustentabilidade.	A estrutura é desenvolvida a partir de uma revisão de literatura, bem como de 14 entrevistas aprofundadas com especialistas.	Os resultados do estudo revelam seis dimensões de risco com 27 subdimensões que ocorrem durante a implementação da Indústria 4.0
18	Optimization of Municipal Waste Collection Routing: Impact of Industry 4.0	Tamás Bányai; Péter Tamás; Béla Illés; Živilė	2019	International Journal of Environmental Research and Public Health	Os autores descrevem as possibilidades de aplicação das	Após uma revisão sistemática da literatura, este artigo apresenta o	A contribuição científica deste trabalho para pesquisadores desse

	Technologies on Environmental Awareness and Sustainability	Stankevičiūtė; Ágota Bányai		Vol.16(4), p.634 [Periódico revisado por pares]	tecnologias da Indústria 4.0 em soluções de coleta de lixo e o potencial de otimização em seus processos.	processo de coleta de resíduos dos centros urbanos como um sistema ciberfísico. É descrito um modelo matemático desse processo de coleta de resíduos, que incorpora problemas de roteamento, atribuição e programação.	campo é a modelagem matemática e otimização de processos de coleta de lixo com base em algoritmo binário baseado em algoritmo de otimização. Os resultados podem ser generalizados, pois o modelo pode ser aplicado a diferentes campos de sistemas de gerenciamento de resíduos, desde resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos
--	--	-----------------------------	--	---	---	--	--

							(WEEE) até biomassa ou resíduos médicos.
19	Evaluation of the relation between lean manufacturing, industry 4.0, and sustainability	Leonilde Varela; Adriana Araújo; Paulo Ávila; Hélio Castro; Goran Putnik	2019	Sustainability Vol.11(5), p.1439 [Periódico revisado por pares]	Esta pesquisa propõe um modelo de equação estrutural, com seis hipóteses, para medir quantitativamente os efeitos do Lean Manufacturing and Industry 4.0, em Sustentabilidade.	Foi realizada uma revisão de literatura focada principalmente na influência de LM em Sustentabilidade e I4.0 em Sustentabilidade. Foram coletados 252 questionários válidos de empresas industriais da Península Ibérica (Portugal e Espanha).	Os resultados mostram que: (1) não é conclusivo que o Lean Manufacturing esteja correlacionado com qualquer um dos pilares da sustentabilidade; e (2) a indústria 4.0 mostra uma forte correlação com os três pilares da sustentabilidade.

20	A comprehensive framework for the analysis of Industry 4.0 value domain	César Martínez-Olvera; Jaime Mora-Vargas	2019	Sustainability Vol.11(10), p.2960 [Periódico revisado por pares]	Neste artigo, explora-se o processo de criação de valor na Indústria 4.0, com ênfase especial em sua relação com a personalização em massa e a questão da sustentabilidade.	Com base nas lacunas de pesquisa identificadas e nas oportunidades derivadas de uma revisão de literatura, propõe-se o desenvolvimento do Cliente-Produto-Processo-Recurso (CPPR) 4.0, uma estrutura abrangente que coloca o ciclo de proposição de valor-criação-	Os resultados obtidos parecem sugerir que o impacto do Nível de Reconfiguração do Sistema no Volume de Produção é maior que o impacto do Nível de Customização. As implicações desses resultados para a questão da sustentabilidade advêm do fato de que é possível criar um modelo de negócios com uma proposta de valor sustentável ao abordar adequadamente o uso
----	---	--	------	--	---	--	--

						captura próprio de um ambiente da Indústria 4.0, no contexto de uma organização de fabricação visualizações cliente-produto-processo-recursos.	de altos níveis de tecnologia.
21	Identifying the Equilibrium Point between Sustainability Goals and Circular Economy Practices in an Industry 4.0 Manufacturing Context Using Eco-Design	Fernando E. Garcia-Muiña; Rocío González-Sánchez; Anna Maria Ferrari; Lucrezia Volpi; Martina Pini; Cristina Siligardi; Davide	2019	Social Sciences Vol.8(8), p.241 [Periódico revisado por pares]	Este estudo teve como objetivo testar o eco-design como uma ferramenta para definir o ponto de equilíbrio entre sustentabilidade e economia circular no ambiente de	Aplicar operacionalmente um procedimento para implementar os princípios de sustentabilidade ambiental, social e econômica em um ambiente de manufatura.	O principal resultado deste trabalho foi a validação empírica em um ambiente de fabricação de paradigmas de sustentabilidade por meio de ferramentas de design ecológico e tecnologias digitais,

		Settembre- Blundo			<p>fabricação da produção de ladrilhos cerâmicos e demonstrar como novas oportunidades de negócios podem ser criadas através da evolução de um modelo de negócios linear para um circular, graças às tecnologias IoT e Industry 4.0 usadas como fatores de habilitação.</p>		<p>propondo o modelo circular de negócios como uma ferramenta operacional para promover a competitividade das empresas graças às tecnologias IoT e Industry 4.0 usadas como fatores facilitadores</p>
--	--	----------------------	--	--	---	--	---

22	Big data for agri-food 4.0: Application to sustainability management for by-products supply chain	Belaud, Jean-Pierre; Prioux, Nancy; Vialle, Claire; Sablayrolles, Caroline	2019	Computers in Industry Vol.111, p.41 [Periódico revisado por pares]	Este projeto utilizou impactos ambientais para avaliar os vários processos e seus painéis de tecnologias. A abordagem desenvolvida integra big data, para melhorar o gerenciamento da sustentabilidade no design da cadeia de suprimentos, com o objetivo de valorizar os resíduos agrícolas.	A abordagem é dividida em cinco etapas principais: objetivo, arquitetura de dados, análise de sustentabilidade, visualização e decisão da sustentabilidade. Cada etapa tem suas próprias subetapas. Coleta de dados.	Projetou-se uma abordagem que integra a indústria 4.0 ao design da cadeia de suprimentos para melhorar o gerenciamento da sustentabilidade e a valorização de resíduos agrícolas. No estudo de caso apresentado, aplicou-se essa abordagem à avaliação de quatro pré-tratamentos de processos na indústria agroalimentar.
----	---	--	------	---	---	--	---

