

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Rebeca de Faria Doeler

**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A 4^a
REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: PANORAMA BRASIL -
MUNDO**

**Santa Maria, RS
2018**

Rebeca de Faria Doeler

**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL:
PANORAMA BRASIL - MUNDO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Produção.**

Orientadora: Janis Elisa Ruppenthal

Santa Maria, RS

2018

RESUMO

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: PANORAMA BRASIL-MUNDO

AUTORA: Rebeca de Faria Doeler

ORIENTADORA: Janis Elisa Ruppenthal

Este trabalho apresenta um estudo de tecnologias desenvolvidas a partir do ano de 2008, no período denominado Quarta Revolução Industrial, que podem ser aplicadas de forma a alcançar um desenvolvimento sustentável a nível mundial, além de iniciativas desenvolvidas especialmente em território brasileiro. Este tem o objetivo de elaborar um panorama entre a situação nacional e mundial das atividades que orientem a alternativas sustentáveis de produção e consumo através das tecnologias da Indústria 4.0. A pesquisa e seleção de tecnologias e projetos foram feitas a partir de busca em páginas da web de empresas públicas e privadas, artigos científicos e relatórios. Inicialmente, foram abordados assuntos teóricos relevantes, como os conceitos de “Quarta Revolução Industrial” e “Desenvolvimento Sustentável”, e como esses conceitos podem ser aplicados em conjunto, de maneira prática, a fim de deixarem de ser apenas teoria e se tornarem uma realidade no dia-a-dia da população mundial. Por fim, foram levantadas tecnologias nas áreas de: veículos elétricos, geração de energia através de fontes alternativas, produção agrícola ecológica e alternativas sustentáveis ao plástico. Além disso, em cada área, foram calculados os efeitos, em toneladas de CO₂ emitidas e poluição de efluentes, dos modelos de produção e consumo tradicionais. Concluiu-se que os modelos tradicionais de produção e consumo são prejudiciais para a busca de um desenvolvimento sustentável a nível mundial, além do fato que as tecnologias da Quarta Revolução Industrial contribuem altamente para um Desenvolvimento Sustentável e são passíveis de serem aplicadas mundialmente em um futuro próximo.

Palavras-chave: Quarta Revolução Industrial. Desenvolvimento Sustentável. Tecnologias. CO₂. Indústria 4.0. Sustentabilidade.

ABSTRACT

SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION: BRAZIL-WORLD OUTLOOK

AUTHOR: Rebeca de Faria Doeler

ADVISOR: Janis Elisa Ruppenthal

This paper presents a study of technologies developed since 2008, in the period denominated Fourth Industrial Revolution, that can be applied in order to achieve Sustainable Development in a world outlook, besides initiatives developed specifically in Brazilian territory. It has the purpose of developing an outlook between the national and world situation of activities that guide to sustainable alternatives of production and consumption through technologies of the Industry 4.0. The research and selection of technologies and projects were based on search at websites of public and private companies, scientific articles and reports. Initially relevant theoretical subjects were approached, such as the concepts of “Fourth Industrial Revolution” and “Sustainable Development”, and how these concepts can be applied together, in a practical way, in order to no longer be only theory and become a reality in the daily life of world population. Lastly, technologies were raised on areas such as: electric vehicles, energy generation through alternative sources, ecological agricultural production and sustainable alternatives to plastic. Moreover, in each area, were calculated the effects, in tons of CO₂ emissions and effluents pollution, of the traditional production and consumption models. It is concluded that the traditional production and consumption models are harmful to the aim of a Sustainable Development on a world outlook, beside the fact that Fourth Industrial Revolution technologies contribute highly to Sustainable Development and are subject of being applied worldwide in a near future.

Keywords: Fourth Industrial Revolution. Sustainable Development. Technologies. CO₂. Industry 4.0. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos duzentos anos, foi possível observar a capacidade inerente à humanidade de se adaptar às circunstâncias e revolucionar o seu modo de vida. O ser humano tem como característica única não se acomodar em suas vidas e sempre buscar por algo que os marque como únicos. Isso foi visto na 1ª Revolução Industrial, quando o homem não se conformou com o transporte a cavalo ou carroça, e inventou a primeira máquina a vapor. Na 2ª Revolução Industrial, quando Henry Ford decidiu que queria produzir mais carros do que era possível com a produção manual e idealizou a primeira linha de produção e a consequente produção em massa. Já na 3ª Revolução Industrial, houve o surgimento da chamada “Era da Robótica” e da “Era da Informação” – as indústrias passaram a ser equipadas com braços mecânicos e ao cidadão comum, que anteriormente se informava a partir de jornais, televisão e rádio, foi oferecida a possibilidade de comprar uma máquina revolucionária chamada computador, no qual ele poderia ter acesso a informações do mundo todo instantaneamente, a partir do que é considerada a maior invenção de todos os tempos: a internet.

A capacidade de se adaptar a circunstâncias adversas, anteriormente citada, foi vista especialmente ao longo do século XX – cenário das duas Guerras Mundiais e da Guerra Fria. Descobertas como a penicilina, o submarino, o avião a jato e a bomba atômica são apenas alguns exemplos do quanto o ser humano pode ser inventivo, dadas as circunstâncias propícias para isso.

Porém, essas revoluções tecnológicas – na área industrial, automobilística, saúde e informática – resultaram em uma consequência difícil de prever: o uso indevido dos recursos naturais terrestres de forma que os recursos de um Planeta Terra e meio são necessários para suprir a atual demanda de água, minérios e alimentos da humanidade (WORLD WIDE FUND FOR NATURE, 2010). Além disso, modelos de produção mal estruturados e o constante consumo e descarte descuidado por parte da sociedade acabaram por gerar níveis de poluição antigamente inimagináveis – tanto na água quanto no ar e no solo – que afetam diretamente a saúde e o modo de vida dos seres humanos, além todos os ecossistemas na Terra.

Para Arancha Gozález Laya, diretora executiva do Centro de Comércio Internacional, a Quarta Revolução Industrial pode beneficiar a todos, uma vez que ela possibilita a conquista de uma produção e consumo mais sustentáveis em todos os biomas e sociedades ao redor do mundo (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018a). Partindo dessa premissa, é possível inferir que as novas tecnologias da Indústria 4.0 e modelos sustentáveis de produção e consumo devem andar juntos de forma a contribuir para um futuro mais promissor para a humanidade.

Em seu aspecto social e econômico, a Quarta Revolução Industrial também tem o potencial de mudar completamente o atual modelo de desenvolvimento econômico, de acordo com Mateusz Morawiecki, primeiro-ministro de economia, desenvolvimento e finanças da Polônia (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018a). Ele também diz que cabe ao governo garantir que todos tenham acessos a empregos decentes em uma situação de alto desenvolvimento tecnológico em nível mundial. Essa premissa condiz com no mínimo quatro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU – erradicação da pobreza, educação de qualidade, trabalho decente e crescimento econômico e redução das desigualdades.

1.1 PROBLEMA

Diante da atual situação de degradação ambiental, em que cada atividade cotidiana do ser humano afeta a estabilidade socioambiental, e considerando o potencial de redução do uso de recursos das novas tecnologias da quarta revolução industrial, tanto na produção quanto no consumo, passa-se a considerar o possível efeito dessas tecnologias. Assim, elaborou-se a seguinte problemática: é possível mapear os benefícios socioambientais que esses avanços tecnológicos da Indústria 4.0 podem trazer se aplicadas em larga escala?

1.2 OBJETIVOS

Para a realização dessa atividade de pesquisa, foram estabelecidos os objetivos gerais e específicos. A seguir apresentam-se os propósitos que norteiam o desenvolvimento desse estudo.

1.2.1 Objetivo Geral

Elaborar um panorama entre a situação nacional e mundial das atividades que orientem a alternativas sustentáveis de produção e consumo através das tecnologias da quarta revolução industrial.

1.2.2 Objetivos Específicos

A partir da definição do objetivo geral, é possível definir uma série de objetivos específicos que definem uma linha cronológica desse trabalho:

- Realizar um diagnóstico da situação mundial de avanços tecnológicos relativos à Quarta Revolução Industrial.
- Apresentar um diagnóstico da situação nacional de avanços tecnológicos relativos à Quarta Revolução Industrial.
- Identificar quais desses avanços tecnológicos teriam impacto na sustentabilidade ambiental.
- Comparar os avanços nacionais e mundiais.
- Sugerir, através de uma análise, qual a área que poderia apresentar maior impacto.

1.3 JUSTIFICATIVA

A Agenda de Desenvolvimento Sustentável de 2030 analisa a época em que foi criada como um momento crítico para o desenvolvimento sustentável, apontando a existência de crescente desigualdade em relação a oportunidades, riqueza, poder e gênero, os problemas de desemprego, saúde, desastres naturais e violência extrema. Ela também analisa as ameaças ambientais advindas da depredação de recursos naturais, como degradação ambiental – enchentes, secas, escassez de água fresca e perda da biodiversidade – mudanças climáticas, aumento da temperatura, aumento do nível do mar e acidificação dos oceanos. No entanto, essa época também pode ser vista como uma de novas oportunidades, especialmente na área de tecnologia, que tem o potencial de alavancar o progresso humano, superar disparidades sociais e criar sociedades de conhecimento em áreas diversas. Para alcançar essas oportunidades, governos, organizações internacionais, o setor de negócios, outras entidades não estatais e pessoas individuais são incluídas nesse plano como agentes da mudança de padrões de consumo e produção não sustentáveis, através de recursos financeiros e tecnológicos, para padrões de consumo e produção mais sustentáveis (UNITED NATIONS, 2015 b). Com isso, percebe-se a necessidade da humanidade começar a se preocupar com ações que levem a sustentabilidade, não apenas em uma escala aplicável a todo o planeta, mas em atitudes diárias, como priorizar a compra de um carro elétrico e não a gasolina, ou evitar usar sacolas plásticas no supermercado e começar uma sacola reutilizável.

Perkins (2017) analisa que a população mundial vem crescendo e o consumismo alimenta a economia global, o que torna inviável simplesmente reduzir o consumo. Uma

alternativa diz que o verdadeiro problema não é o consumo, e sim o *design*, pois produtos ainda são projetados para serem confeccionados a partir de recursos que estão se esgotando, através de um processo que intoxica as águas e o ar e não traz os melhores benefícios para a mão-de-obra que os cria. Ele aponta três tendências que estão alterando os padrões de consumo: a repercussão contrária à obsolescência programada – certos produtos físicos que podem ser simplesmente atualizados e voltar às mãos do dono estão ganhando força no mercado; a economia colaborativa – atualmente há a transição de modelos de posse para modelos de serviço; e a economia circular, onde produtos novos são confeccionados a partir de partes ainda utilizáveis de produtos antigos. Essas tendências são possibilitadas por novas tecnologias que estão emergindo no cenário mundial, cada vez mais acessíveis a população.

No entanto, a verdadeira questão não é se a sociedade deve consumir de maneira mais sustentável, e sim como isso será alcançado. A proposta aqui defendida é que, através de novas tecnologias proporcionadas pela Quarta Revolução Industrial, seja possível produzir e consumir produtos que utilizem menos recursos, como água, matéria-prima, energia e combustíveis fósseis, que tenham um efeito negativo significativamente menor no meio ambiente e que tenham uma vida útil mais longa e conseqüentemente, gerem menos resíduos na natureza.

O *World Economic Forum* (2018 b), através de uma análise dos atuais modelos de produção e consumo, selecionou quatro áreas – automotiva, alimentícia (e bebidas), eletrônica, têxtil (vestuário e calçadista) – nas quais as novas tecnologias da Indústria 4.0 vão ser inseridas. A partir desse ponto, foi possível visualizar quais tecnologias possibilitam às áreas selecionadas a atingirem o propósito de alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Esse estudo, pioneiro em sua área, permite uma melhor visualização do impacto que a Quarta Revolução Industrial pode ter no Desenvolvimento Sustentável, considerando uma inserção dessas tecnologias no âmbito industrial, e será abordado novamente no referencial teórico.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Ao tratar de um assunto tão abrangente como o desenvolvimento sustentável, é interessante trazer uma delimitação mais específica ao assunto que será abordado. Nesse caso, a pesquisa será focada na área do desenvolvimento sustentável voltada à sustentabilidade ambiental. Assim, as tecnologias pesquisadas poderão ter os seus resultados aplicados a um menor desperdício ou uma melhor utilização de recursos naturais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A primeira revolução industrial teve seus primórdios em 1760 com a invenção da máquina a vapor, mas tem seu início formalmente em 1784, com a invenção do tear mecânico, o que possibilitou a produção mecânica – a construção de ferrovias também começou nesse período. No fim do séc. XIX, a chamada Indústria 2.0 marcou presença com o advento da eletricidade e a introdução da produção em massa através da divisão do trabalho. Já a Indústria 3.0 começou no início da década de 70, através dos primeiros computadores, da automatização da produção e da internet (WAHLSTER, 2012).

Pascall, (2017) analisa que o termo “Indústria 4.0” foi inicialmente concebido na Feira de Hanover na Alemanha em 2011, de forma a enfrentar a competição do exterior e diferenciar o mercado Europeu de outros mercados internacionais – o governo alemão conseguiu se diferenciar através da priorização do uso de monitoramento inteligente e produção flexível ao tomar decisões e tratar o maquinário. A Indústria 4.0 vai envolver a integração técnica de Sistemas Ciberfísicos (CPS) – redes globais que incorporam maquinário, sistemas de armazenamento e instalações de produção – em manufatura e logística e o uso da Internet das Coisas (IoT) no processo industrial. O efeito será sentido na criação de valor, modelos de negócios, serviços e organização do trabalho (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING, 2013). As possibilidades – sociais, econômicas e ambientais – trazidas por sistemas de produção e consumo integrados, que funcionam independentemente do erro humano, apenas começaram a ser mensuradas, mas o impacto que causarão na sociedade do futuro será algo diferente de todas as revoluções industriais anteriores.

Schwab (2017) aponta que grandes inovações tecnológicas, inevitavelmente, estão prestes a trazer mudanças importantes ao redor do mundo. A Indústria 4.0 engloba essa revolução tecnológica, que varia de um aspecto como o de sistemas e máquinas interconectados, passando pelo de sequenciamento de genes e nanotecnologia, à área de energia renovável até chegar à computação quântica. Ele também analisa as novas formas de interação que começaram a ocorrer: já se podem ver tecnologias digitais se fundindo com o mundo biológico, algo impensável vinte anos atrás.

No mesmo livro, uma lista de tecnologias da Quarta Revolução Industrial é fornecida e analisada: veículos autônomos, impressão 3D, robótica avançada, novos materiais, Internet das Coisas, sensores ultrasensíveis, *bitcoins*, economia colaborativa, plataformas digitais, biologia sintética, rastreamento genético, medicina de precisão, modificação de genoma, entre outros. Essas tecnologias fornecerão parte da base na qual um estudo maior será desenvolvido neste trabalho.

2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Em 2015, líderes de 193 países se reuniram para encarar o possível futuro: os problemas que encontraram e a proporção que poderiam tomar foram o suficiente para propulsionar o desenvolvimento de um plano chamado Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Ele consiste em 17 objetivos que, projetados em um futuro de 15 anos e aplicados de maneira correta em larga escala, seriam capazes de eliminar a pobreza e a fome e salvar o planeta dos piores efeitos da mudança de clima. Atualmente, esses objetivos estão sendo aplicados em quase 170 países (UNITED NATIONS, 2015 a). É possível considerar esse plano como o primeiro grande passo para atingir o desenvolvimento sustentável em nível mundial, porém os ODS não passariam de um plano teórico se os governos mundiais e empresas privadas não estabelecessem condições razoáveis para que eles tomassem forma – condições que devem ser cada vez mais permissivas para os ODS poderem continuar se desenvolvendo e atingirem seu potencial máximo.

A sustentabilidade é citada atualmente como um dos três principais fatores na alocação, investimento e compra de capital de investidores institucionais de larga escala (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018 b). Isso indica um incentivo não somente social e ambiental, mas também econômico para que cada vez mais empresas adotem a sustentabilidade como um de seus princípios.

Sachs (2015) aponta que o desenvolvimento sustentável pode ser visto como um meio para entender como aspectos econômicos, sociais, ambientais, políticos e culturais se encaixam em um planeta em constante transformação e também como cada um destes pode se desenvolver sem prejudicar os outros. Ele também indica quatro fatores que devem estar presentes em uma sociedade próspera e bem desenvolvida: economia estabilizada (PIB), inclusão social (entre etnias, gêneros, regiões), sustentabilidade ambiental (manter biodiversidade e ecossistemas e evitar mudanças climáticas) e boa governança (governos transparentes e estáveis). Permite-se assim uma análise mais profunda sobre a

sustentabilidade, na qual ela permite a humanidade chegar próximo a um ponto de “sociedade utópica” caso todas as premissas do desenvolvimento sustentável fossem aplicadas e mantidas.

2.3 CONTRIBUIÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0 PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Schmitt (2013) desenvolveu cinco motivos definindo porque a Indústria 4.0 vai ser revolucionária na era de tecnologia de informação. Dentre eles, é citado o motivo de que a Indústria 4.0 vai possibilitar uma prosperidade sustentável. O argumento é que antigos modelos de industrialização se baseiam em uma utilização de recursos que não pode mais se manter, resultando em escassez de recursos e diminuição de empregos. Atualmente, o crescimento econômico deve ser visualizado em uma perspectiva de longo prazo, para conseguir se alinhar com uma diminuição em energia, recursos e meio-ambiente. É possível reduzir o consumo de energia, por exemplo, ao construir instalações de produção mais próximas aos centros consumidores e da mão-de-obra, reduzindo custos logísticos e os consequentes efeitos de poluição ambiental através de transporte – a Indústria 4.0 possibilita a solução para conquistar esse modelo, através de suas novas tecnologias, permitindo produzir em qualquer parte do mundo, mesmo em regiões de maior custo.

Cada governo vai encarar as mudanças que ocorrerão de acordo com a situação em que seus países se encontram, o que leva ao ponto crítico de como os países vão utilizar os benefícios trazidos pela Quarta Revolução Industrial e permitir que suas novas tecnologias se desenvolvam, de forma a trazer novas oportunidades para a sociedade, para que seja possível remediar os danos causados pelas revoluções industriais anteriores e também permitir que a Quarta Revolução Industrial seja bem estruturada e sustentável (MORRAR; ARMAN; SAEED, 2017). Não existe um plano que seja aplicável em todas as situações ou em todos os países – cabe aos governos criar diretrizes e incentivos adaptados às condições sociais, econômicas e ambientais de cada país. Da mesma forma, grandes e pequenas empresas tem o dever moral de adotarem uma postura de comprometimento ao máximo possível de medidas que orientem-nas ao desenvolvimento tecnológico e, conseqüentemente, sustentável.

Jovane et al (2008) identifica que países emergentes poderiam considerar a sustentabilidade como seu primeiro passo em busca do desenvolvimento, ao mesmo tempo que países já desenvolvidos podem se direcionar rapidamente em direção a uma manufatura sustentável e competitiva.

Um estudo realizado pela *National Academy of Science and Engineering* (2013) verifica que a indústria manufatureira é a maior consumidora de materiais virgens e energia – as novas tecnologias da Quarta Revolução Industrial permitirão uma maximização na produtividade e eficiência desses recursos, garantindo um maior aproveitamento e menor desperdício. Também é feita uma análise das “fábricas inteligentes” a qual conclui que, se planejadas de forma correta, tendem a facilitar a complexidade do processo de manufatura para seus trabalhadores, poupam recursos e permitem que a produção seja lucrativa e sustentável em um ambiente urbano, de forma que é possível concluir que a Indústria 4.0 traz um bônus em produtividade.

De acordo com um estudo desenvolvido pelo *World Economic Forum* (2017), a Quarta Revolução Industrial vem possibilitando com que novas tecnologias se desenvolvam mais rapidamente, eficientemente e amplamente, possibilitando mudanças sociais através de seus efeitos em economia, valores, identidades e possibilidades para futuras gerações. Atualmente, está sendo apontada a existência de uma oportunidade de unir a Indústria 4.0 e suas consequentes mudanças sociais para ajudar na abordagem de problemas ambientais e ao remodelar a gestão do ambiente global compartilhado. No entanto, também é analisada uma possível consequência de tantas mudanças tecnológicas e sociais: o aumento das ameaças contra a segurança ambiental – contramedidas rápidas e eficientes devem ser elaboradas previamente e colocadas em prática caso alguma ameaça tome forma.

O estudo anteriormente citado também levanta cinco diretrizes a serem consideradas em cidades emergentes para alcançar a sustentabilidade ambiental, e que podem ser suportadas pela Quarta Revolução Industrial:

- Planejamento e construção inteligente, para melhoria da utilização do ambiente construído: planejamento urbano e incentivos ineficientes resultam em menos espaços abertos, maior uso de meios de transporte privados e infraestrutura cinza, cuja consequência é uma maior emissão de gases do efeito estufa. Dentre as alternativas para consertar essa situação existem prédios multifuncionais com espaço otimizado, casas e prédios comerciais inteligentes que reduzem o uso de luz e água e uso de nanomateriais em construção de forma a reduzir a pegada de carbono.
- Transporte e logística sustentáveis para melhorar a mobilidade e conectividade: um sistema de transporte público ineficiente resulta em um maior uso de combustíveis fósseis. A Indústria 4.0 provem soluções como transporte integrado, o que reduz a necessidade de veículos privados, veículos movidos a energia renovável e melhores

soluções de mobilidade para caminhar e andar de bicicleta e plataformas que monitoram o trânsito em tempo real, além de tecnologias ainda experimentais como o carro autônomo e uso da Internet das Coisas para gerir a poluição em tempo real.

- Energia e serviços públicos limpos para melhorar a eficiência de sistemas urbanos e do ambiente: as cidades representam uma grande oportunidade para combater o aquecimento global, ao substituir a luz e o aquecimento gerados a partir de combustíveis fósseis por energia solar e eólica e utilizar sensores para controlar o uso de água e luz.
- Saúde urbana e recursos voltados a diminuir a poluição e melhorar o modo de vida das pessoas: hoje os sistemas de energia, áreas verdes, água e lixo não são integrados de forma a aproveitar os benefícios que um pode gerar ao outro. Como alternativas existem a agricultura urbana, áreas verdes em prédios, análise do ciclo de vida da água, possibilitando o seu reuso e gestão integrada do lixo municipal e industrial.
- Sistemas urbanos resilientes para permitir às cidades resistirem a catástrofes ambientais: desastres causados pela mudança climática cada vez mais mostram a fragilidade dos sistemas urbanos. Como solução para isso, são apontadas avançadas tecnologias de monitoramento de riscos, gerenciamento urbano adaptado e em tempo real, uma infraestrutura preparada para catástrofes naturais e um sistema inteligente de resposta para prevenção de desastres.

Um estudo sobre diretrizes para sustentabilidade mostra que 84% das implementações da Internet das Coisas afetam ou têm o potencial de afetar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos pelas Nações Unidas. Para atingir o seu potencial completo como um facilitador do desenvolvimento sustentável, a sustentabilidade deve ser incorporada na fase de desenvolvimento de projetos de IoT (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018 b).

Carvalho et al (2018) aponta seis princípios de design da Indústria 4.0 que resultam em melhorias para a manufatura sustentável. Dentre eles, são citados a *Interoperabilidade* de maquinário, o que leva a maiores ciclos de vida e maior eficiência das máquinas e, consequentemente, um menor desperdício do material que compõe essas máquinas; *Descentralização* de decisões, o que permite a empresas internacionais melhor se adaptarem à realidade de recursos em cada ambiente estrangeiro; *Virtualização*, que possibilita a indústrias avaliar e prever resultados, o que leva a diminuição do desperdício industrial e, se em parceria com o consumidor, permite uma melhoria na reciclagem do produto; *Capacidade em tempo real*, que pode resultar em menor uso de energia e recursos, adaptabilidade a mudanças de demanda e, se bem aplicado, pode evitar produção desnecessária; *Modularidade*, que envolve

sistemas modulares, que tornam mudanças de produção muito mais flexíveis e rápidas, e *Orientação ao serviço*, que oferece melhores opções de reciclagem e reuso e menor uso de recursos.

O *World Economic Forum* (2018a) em seu estudo sobre como a Quarta Revolução Industrial pode afetar a sustentabilidade dos sistemas de produção, analisou vários avanços tecnológicos em cada área identificada – automotiva, alimentícia e de bebidas, eletrônica, têxtil, vestuário e calçadista. Posteriormente, os três avanços tecnológicos de cada área que tiveram maior impacto positivo e menor impacto negativo nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável foram avaliados e suas possibilidades estudadas mais detalhadamente, como é possível observar no Quadro 1.

Quadro 1 – Tecnologias com melhor avaliação em cada área

Setor automotivo	
Tecnologias	Resumo e aplicações
Pequeno ciclo de reciclagem para manufatura	Todo o processo de reciclagem seria capaz de se manter dentro do próprio setor de automotivo, possibilitando a reutilização do material na manufatura. Além disso, parcerias na área de reciclagem possibilitadas por plataformas digitais gerariam mais empregos de qualidade.
Plásticos e compostos de base biológica	Metais e plásticos seriam substituídos por biopolímeros ou plásticos de fibra natural à base de matéria-prima vegetal - materiais mais leves, mais baratos e mais sustentáveis ambientalmente do que polímeros convencionais, e podem ser utilizados em vários sistemas de veículos.
Desmontagem robótica para remanufatura	Permite uma desmontagem mais fácil, rápida e barata no fim do ciclo de vida do produto, o que leva a um melhor uso de recursos e possibilita uma economia circular na indústria.

Setor de eletrônicos	
Tecnologias	Resumo e aplicações
Semicondutor fabril 4.0	Aplicação de técnicas avançadas ao fabricar componentes eletrônicos que utilizam muita energia e recursos, o que resulta em operações otimizadas (com o uso de robótica, máquinas inteligentes, big data e Internet das Coisas), e a consequente melhora na sustentabilidade.
Desmontagem autônoma para eletrônicos	Permite a reutilização e reciclagem de componentes eletrônicos, diminuindo a demanda por matéria virgem. É possibilitado através de robótica avançada e automatização em mini fábricas de desmontagem. Diminui o risco na cadeia de suprimentos e garante o reuso contínuo e valorização de matéria virgem.
Materiais eletrônicos verdes	Materiais biológicos sintetizados por fontes orgânicas (bactérias e micróbios) podem ajudar na conquista de aparelhos menores e mais potentes. Eles podem diminuir a dependência de fontes de energia não-renováveis e o uso de componentes tóxicos em eletrônicos de uma maneira eficiente em custos.

Setor alimentício e de bebidas	
Tecnologias	Resumo e aplicações
Agricultura de precisão	Permite decisões científicas na agricultura. Usa tecnologias como GPS, sensores de solo, dados do clima e Internet das Coisas para decidir sobre fertilizantes, irrigação, época de colheita, espaçamento de sementes, etc. Aumenta o rendimento e otimiza o uso de recursos.
Bio-agricultura avançada	União de tecnologias de agricultura com soluções biológicas, o que resulta em uma variedade de produtos baseados em microrganismos naturais. Eles reduzem a poluição química na terra e na água, ajudam a solucionar a queda de biodiversidade e reduzem os riscos para a saúde humana.
Edição de genoma	Cientistas podem hackear os genomas e inserir as características desejadas nas plantas. Pode promover tolerância a secas, aumento do rendimento e produtividade do equipamento agrícola.

Setor têxtil e calçadista	
Tecnologias	Resumo e aplicações
Fibras naturais alternativas	Fibras têxteis feitas de plantas não comestíveis ricas em celulose (que não tem um alto valor comercial). Elas podem ser usadas como alternativa ao algodão e tecidos baseados em petróleo. Essas plantas provêm fibras com propriedades superiores, renováveis e biodegradáveis.
Plantações de fibras geneticamente editadas	Misturado com a edição de genoma, é especialmente voltado para o algodão. Essa tecnologia pode resolver o problema de baixo rendimento causado por erosão do solo, intensidade da água e uso intensivo de químicos.
Couro biofabricado	União de tecido biofabricado e células de colágeno via laboratório. A fabricação é feita através de um simples processo de queima que usa menos produtos químicos. Não há desperdício, já que o tamanho e forma são determinados no projeto. Esse processo é mais rápido e limpo, resultando em um produto com uma menor pegada ambiental.

Fonte: Adaptado de WORLD ECONOMIC FORUM (2018 a).

3 METODOLOGIA

3.1 CENÁRIO

O presente trabalho visa um estudo das novas tecnologias e produtos emergentes da Quarta Revolução Industrial, restringindo o seu campo de análise às tecnologias que podem ser relacionadas de alguma forma à área do desenvolvimento sustentável. Além disso, o estudo, que pretende analisar os possíveis efeitos de aplicação em larga escala desses produtos a um nível nacional e mundial, deve ser embasado por resultados mensuráveis, de forma que tecnologias puramente experimentais e sem dados concretos ou projeções, não serão incluídas no campo de estudo.

3.2 MÉTODO DE PESQUISA

O método da pesquisa está classificado de acordo com o Quadro 1.

Quadro 2 – Classificação e Enquadramento da pesquisa

Classificação	Enquadramento
Natureza	Aplicada
Abordagem	Qualitativa
Objetivos	Exploratória e descritiva
Procedimentos	Estudo multi-casos

Fonte: Autora.

A pesquisa tem sua natureza aplicada ao discutir de maneira prática as teorias e conhecimentos acadêmicos. Tem sua abordagem qualitativa, pois está trabalhando com o levantamento de dados que expõem o comportamento de uma sociedade. Tem objetivos exploratórios porque busca trazer uma maior compreensão para um fenômeno anteriormente pouco investigado, e objetivos descritivos porque está descrevendo as características das tecnologias estudadas. Por fim, o procedimento é classificado como estudo multi-casos pela miríade de tecnologias e empresas abordadas, todas as quais foram estudadas mais a fundo.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

Primeiramente foi realizado um levantamento bibliográfico de artigos e dissertações no Google acadêmico, Portal Capes e Scielo. Além desses, foram pesquisados websites de organizações relacionadas à Quarta Revolução Industrial e Desenvolvimento Sustentável, como *World Economic Forum*, *United Nations*, entre outros. Também foram utilizados livros da área de sustentabilidade e Quarta Revolução Industrial.

Na sequência foram pesquisadas tecnologias desenvolvidas e/ou consolidadas nos últimos dez anos, a partir de 2008, – período definido por ser a partir de então que autores começam a separar a Indústria 4.0 da Indústria 3.0. Não foram feitas restrições quanto à área de atuação, país de origem e meio no qual foi desenvolvida (esfera pública, privada ou estudantil), mas elas foram restringidas à condição de seus efeitos já poderem ser mensurados ou ao menos projetados com algum grau certeza. Posteriormente, essas tecnologias foram filtradas, restando apenas àquelas que podem ser aplicadas de forma a contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Essa busca foi realizada em empresas e organizações expoentes em novas tecnologias da Quarta Revolução Industrial - empresas internacionais, nacionais, organizações sem fins lucrativos e universidades - através de relatórios e websites. Dentre as fontes pesquisadas, estão empresas como *Tesla Motors* na área de carros elétricos, *Vortex A. Bladeless, S. L.* na área de energias alternativas, *AeroFarms* na área de agricultura do futuro, *Skipping Rocks Lab* na área de materiais alternativos, entre outras.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 EMISSÕES DE CO₂ POR VEÍCULOS

Um estudo do *United States Environmental Protection Agency* (2015) que os meios de transporte são responsáveis por 14% das emissões globais de gases do efeito estufa. Tendo isso em mente, e considerando dados do *The World Bank* (2018), onde tem-se que o total mundial de emissões de gases do efeito estufa (GEE) foi de 53.526.302.828 toneladas do equivalente de dióxido de carbono/ gás carbônico (CO₂) no ano de 2013, pode-se concluir que os veículos – incluindo carros, motos e caminhões – são responsáveis pela emissão de 7.493.682.396 toneladas de CO₂ anualmente e, possivelmente mais, sendo que já se passaram 5 anos desde a coleta desses dados.

Pesquisadores foram capazes de verificar um aumento de $1.7 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ na temperatura mundial a cada trilhão de toneladas de carbono em emissões de CO₂ lançadas na atmosfera (LEDUC; MATTHEWS; ELÍA, 2016). Considerando que uma molécula de CO₂ é composta 27,3% (QUORA, 2017) de carbono, chega-se ao valor de que veículos são responsáveis por lançar 2.045.775.294,108 toneladas de carbono na atmosfera anualmente, o que contribui significativamente para o aumento da temperatura terrestre.

Com isso, pode-se verificar a importância de diminuir e, se possível, eliminar as emissões de gases do efeito estufa por parte dos meios de transporte. Se os veículos elétricos fossem implementados em larga escala e substituíssem todos os veículos à combustão – carros, caminhões, motos e ônibus – as emissões de CO₂ por veículos seriam zeradas, de tal forma que haveria 14% menos toneladas de CO₂ na atmosfera ao ano, reduzindo as chances de aumento da temperatura terrestre.

4.1.1 Panorama Mundo

Dentre todas as empresas que trabalham no ramo de veículos elétricos, a *Tesla Motors* é a que promete oferecer uma maior variedade de produtos, dentre eles quatro modelos de carros e um caminhão. O seu modelo mais eficiente é o Modelo S, cuja bateria tem um alcance de 539 quilômetros – um valor superior a muitos carros a combustão – pode atingir a velocidade de até 250 km/h e carrega o equivalente de bateria para rodar 273 quilômetros em apenas 30 minutos (TESLA MOTORS, 2018).

Além disso, deve-se levar em conta o tempo de vida de um carro elétrico – a bateria já tem um tempo de vida crescente, sendo que hoje, a maioria delas dura em torno de oito anos. Uma vez que o seu tempo de funcionamento expira, a bateria pode passar por um processo de reciclagem que restaura os cátodos usados de baterias de lítio gastas e faz com que elas funcionem com sua eficiência original, gerando significativamente pouco resíduo por parte das baterias (SHI; CHEN; CHEN, 2018).

4.1.2 Panorama Brasil

Em 2016, o total de emissões no Brasil no setor de transportes foi de 194,3 milhões de toneladas do equivalente de CO₂, sendo o setor mais poluente na matriz energética brasileira, responsável por 45,3% das emissões (EPE, 2017).

Um dos maiores passos para incentivar o uso de carros elétricos foi a isenção de impostos de importação para carros com motor elétrico ou com célula de combustível de hidrogênio e a definição de um valor máximo de 7% de imposto para veículos híbridos em 2015 (G1, 2015).

Além disso, alguns projetos paralelos são responsáveis pela criação e desenvolvimento de meios de transporte públicos movidos a eletricidade no Brasil. Em particular, um projeto da Universidade Federal de Santa Catarina criou o Ônibus Elétrico Movido por Energia Solar da UFSC, inaugurado em dezembro de 2016, que é totalmente alimentado pela energia solar captada por placas fotovoltaicas instaladas no telhado de um dos laboratórios da instituição. O ônibus realiza cinco viagens por dia (52 km cada viagem) totalmente gratuitas e economiza cerca de R\$ 2.000,00 mensalmente para a instituição, além de não emitir poluentes (G1, 2016).

É interessante apontar que, no Brasil, o setor de transporte foi responsável pelo consumo de 82,1% de óleo diesel no ano de 2016 (EPE, 2017). Isso revela uma grande

dependência de fontes de energia não renováveis no país, além de um grande potencial para mudança.

Por fim, existe o argumento de que a atmosfera ainda é poluída durante a geração de energia elétrica que acabará por alimentar os carros elétricos, de forma que a diferença para o meio-ambiente entre veículos à combustão e veículos elétricos não é tão significativa. Para melhor analisar esse cenário, têm-se as informações a seguir (item 4.2).

4.2 EMISSÕES DE CO₂ NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O mesmo estudo (EPA, 2015) mostra que a produção de eletricidade e de calor – nesse caso as principais responsáveis são as usinas termoelétricas – é responsável por 25% das emissões de gases do efeito estufa, o que leva a um valor de 13.381.575.707 toneladas do equivalente de CO₂ lançadas na atmosfera anualmente.

4.2.1 Panorama Mundo

Dentre as alternativas a essa indústria existem, tradicionalmente, as hidrelétricas, usinas solares e usinas eólicas, sendo que as três ainda produzem resíduos em sua forma de gerar energia, ainda que um valor muito inferior às termoelétricas. Enquanto essas indústrias são a solução para a produção de energia em maior escala, a Quarta Revolução Industrial possibilitou algumas alternativas que podem ser aplicadas em menor escala, especialmente no âmbito domiciliar. Uma das opções mais difundidas para uso domiciliar são os painéis e as telhas solares.

Os painéis solares, uma tecnologia que já tem sua reputação consolidada, mas que ainda é muito pouco utilizada devido ao seu custo, têm visto nos últimos anos esse cenário se inverter, com os preços caindo exponencialmente e sua utilização crescendo na mesma medida – em 30 países, inclusive no Brasil, a energia solar já se tornou mais barata que a de combustíveis fósseis, sendo possível produzir 1 megawatt/ hora por US\$ 100,00, um preço aproximado ao de carvão, gás natural e petróleo (MORENO, 2017). Entre as empresas que tem a reputação de produzir as melhores e mais eficientes placas solares, estão: *SunPower*, *Panasonic*, *LG*, *Hanwha Q CELLS* e *Solaria*, com taxas de conversão de luz do sol em eletricidade que variam de 22,2% e 19,4% (MATASCI, 2018).

A empresa com maior eficiência, a *SunPower* tem uma proposta de sustentabilidade não apenas ao aplicar o seu produto, mas em toda a sua cadeia logística: as suas instalações

solares são normalmente alocadas em antigos lixões re-vegetados, a linha de produção dos painéis usa cerca de 30% menos água que seus concorrentes, os painéis solares e suas embalagens são reutilizáveis ou recicláveis e, até 2015, 4.7 GW de potencial solar foram instalados pela empresa globalmente, o que previne 10 milhões de toneladas de CO₂ de atingirem a atmosfera – equivalente a remover 2.1 milhões de carros de utilização. A empresa também foi a primeira empresa solar do mundo a ser incluída na lista da Fundação Ellen Macarthur chamada *The Circular Economy 100*, o que indica um modelo de negócio baseado na cadeia circular (SUNPOWER, 2015). As telhas solares são uma criação específica da *Tesla Motors*, que possuem um melhor design, resistência e rendimento maior

Outro produto que foi criado recentemente pela empresa *Turbulent* é uma turbina que funciona à propulsão de água, como uma hidrelétrica em míatúsculas proporções, sem afetar o fluxo dos rios onde são instalados nem a fauna aquática. Essas turbinas são instaladas junto à margem ou dentro do rio, e geram energia proporcionalmente a altura da queda d'água e a quantidade de água que flui por elas. Em sua situação máxima, uma única turbina pode gerar 3.150.000 kWh ao ano, o que tem um potencial financeiro de US\$ 353.769,231 ao ano (TURBULENT, 2018). Similarmente, foi criado o *Waterotor* (WATEROTOR, 2018), uma pequena turbina movida à água que pode ser instalada no chão de qualquer curso de água, gerando energia desde que o fluxo de tenha velocidade mínima de 3,2 km/h. O valor dessa energia também é inferior ao de várias tecnologias alternativas: para águas com fluxo de 3,2 km/h, o valor do kWh é de R\$ 0,56, aproximadamente. O *Waterotor*, apesar de gerar menos energia que o *Turbulent*, é uma alternativa mais viável para cursos de água que não tenham queda.

No âmbito de energia eólica, uma das maiores inovações foi criada pela startup *Vortex A Bladeless, S. L.*: uma turbina movida a vento sem lâminas. Seu objetivo é combater as tradicionais críticas às turbinas eólicas tradicionais, como manutenção, barulho, impacto ambiental, logística e visual. O produto de menor proporção da empresa, de 3 metros de altura, tem capacidade de gerar 100 W de energia, enquanto o de maior proporção tem capacidade de geração de 1 MW, o que pode atender até 400 casas (VORTEX, 2018).

Alternativas de iluminação de espaços públicos também surgiram com a Quarta Revolução Industrial. Entre eles, se destaca uma iniciativa na Polônia de construir uma ciclovia que brilha à noite, feita de um material sintético, totalmente carregada por energia solar durante o dia, que emite brilho por até 10 horas durante a noite (BBC, 2014).

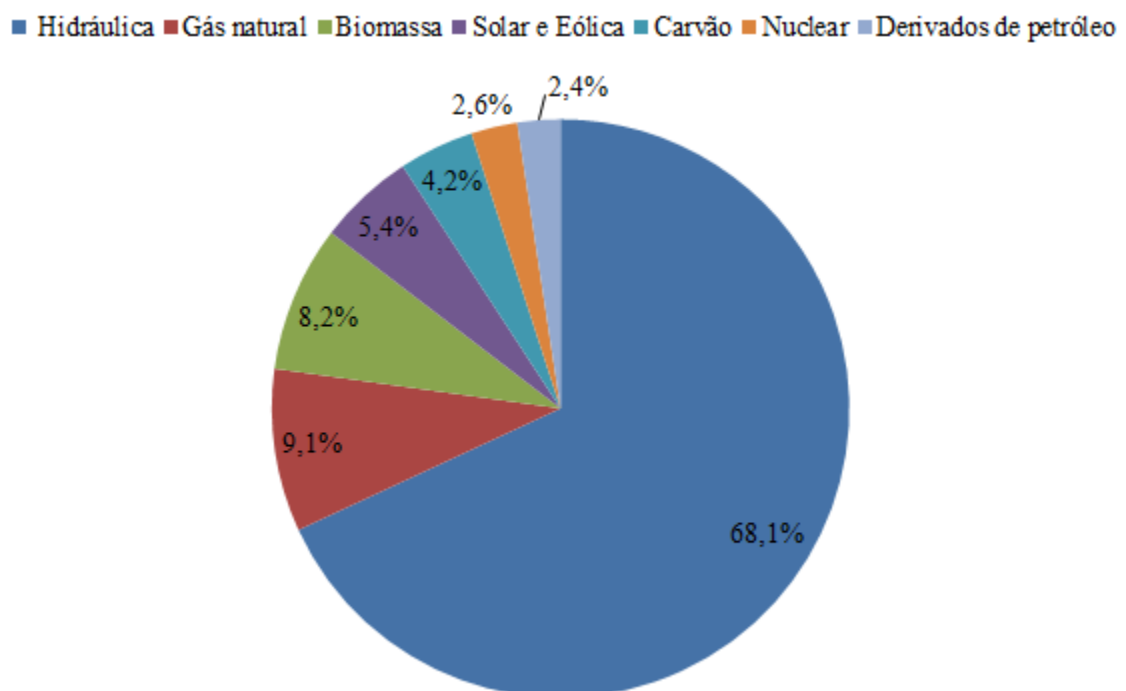
Por fim, é válido trazer um dos mais novos conceitos de geração de eletricidade – a energia gerada por pessoas, onde o movimento de pessoas realizando suas tarefas diárias gera

eletricidade. Uma das empresas que tomou conta desse segmento é a *The Green Outdoor – TGO*. A empresa britânica é responsável por desenvolver e produzir quatro tipos de aparelhos de ginástica que, ao serem utilizados por pessoas geram, em média, 100 watts de eletricidade, que podem ser usados para carregar um celular ou alimentar a iluminação local, além de prover energia para o painel do próprio aparelho (TGO, 2018). Esse tipo de tecnologia, apesar de ainda ser relativamente experimental, foi comprovada eficiente, e é possível almejar o seu potencial uma vez que se desenvolva mais e sua alçada seja expandida para mais partes do planeta. Se 100% das academias do mundo utilizassem esse tipo de tecnologia, o potencial de geração energética é muito vasto.

4.2.2 Panorama Brasil

Segundo o Balanço Energético Nacional do ano de 2016 (EPE, 2017), a Matriz Elétrica Brasileira é composta de acordo como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira



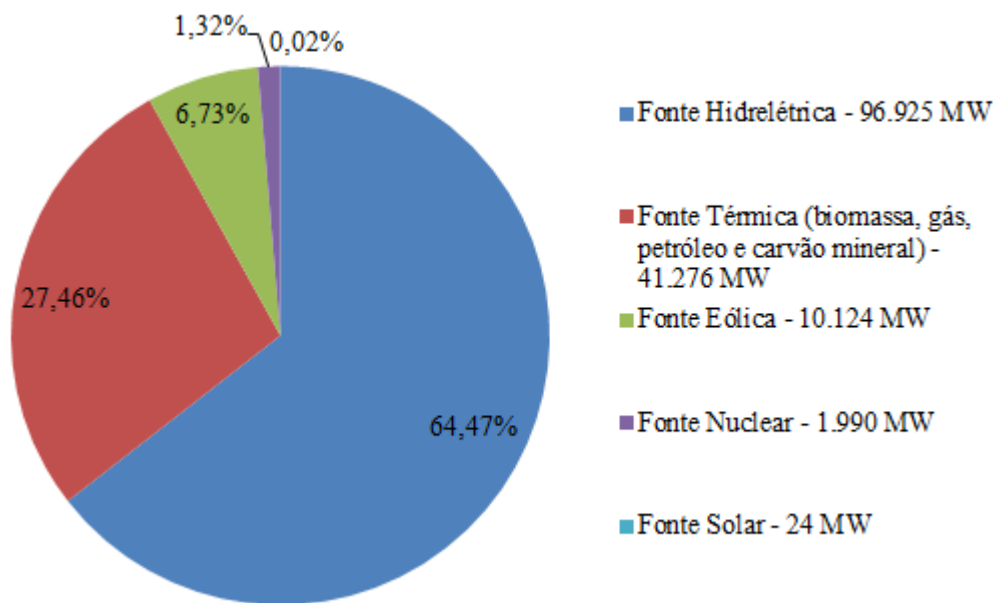
Fonte: Adaptado de EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2017).

Assim, é possível verificar que 82% da Matriz Elétrica Brasileira é composta por fontes renováveis, sendo que 73,5% são não emissoras de GEE's. Isso mostra um grande progresso por parte do Brasil, já que a Matriz Energética Mundial é composta, em média, em

apenas 23% por fontes renováveis. No entanto, ainda há um grande lapso a ser percorrido pelo país, já que é possível verificar uma grande dependência de hidrelétricas que, em função do seu porte, são indústrias que fazem um dano irreparável aos ecossistemas nos quais são construídas. Vale lembrar que esses dados são apenas considerados para eletricidade, sendo que outros propósitos energéticos estão desconsiderados. A oferta de eletricidade no Brasil em 2016 foi de 619,7 TWh, sendo que desses, 421,7 TWh foram gerados pela fonte hidráulica. O índice de poluição do setor elétrico brasileiro emitiu, em média, 101,3 kg de CO₂ para produzir 1 MWh. Um índice menor que o de países da União Europeia, EUA e China (EPE, 2017).

Esse mesmo estudo também faz uma análise da capacidade de geração de energia instalada no país, no ano de 2016 (Figura 2).

Figura 2 – Capacidade de geração de energia instalada do Brasil, em MW



Fonte: Adaptado de EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2017).

Isso mostra uma grande perda, especialmente na fonte solar, do potencial energético brasileiro já que o país tem um dos maiores valores de irradiação solar do mundo, variando de 1.500 a 2.500 Wh/m², superior ao de países como Alemanha (900 a 1.250 Wh/m²), Espanha (1.200 a 1.850 Wh/m²) e França (900 a 1.650 Wh/m²), todos os quais tem grandes projetos de aproveitamento da irradiação solar (NASCIMENTO, 2017).

No Brasil, apesar do grande índice de utilização de energias renováveis, poucos avanços são feitos no âmbito de tecnologias que podem ajudar o país a ser mais sustentável. Na maioria das vezes, quando se quer instalar placas solares em uma residência, o dono tem que fazer um grande investimento ao importá-las.

É importante ressaltar que todas as novas tecnologias geradoras de energia citadas anteriormente são aplicadas não somente no âmbito ambiental do desenvolvimento sustentável, mas também no social, já elas podem ser levadas a comunidades afastadas das grandes redes de distribuição de energia, possibilitando melhores condições de vida, saúde, segurança e educação para seus habitantes. Fazendo uma associação com a Agenda de Desenvolvimento Sustentável de 2030, essas tecnologias contribuem para os ODS 1, 3, 4, 7 e 8 – erradicação da pobreza, saúde e bem-estar, educação de qualidade, energia limpa e acessível e trabalho decente e crescimento econômico, respectivamente.

4.3 POLUIÇÃO NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

A produção agrícola, juntamente com deflorestação e outros usos da terra, é responsável pela emissão de 24% dos gases do efeito estufa (EPA, 2015), o que leva a um número de 12.846.312.678,72 toneladas do equivalente de CO₂ lançadas na atmosfera anualmente. Um estudo da *UN WATER* (UNESCO, 2017) mostra que dos 3.928 km³ de água consumidos pelo mundo anualmente - 70% dos quais são utilizados na agricultura, o que leva a um valor de 2.749,6 km³ de água apenas para a produção de alimentos-, apenas 38% (1492,64 km³) são realmente consumidos pela agricultura através da irrigação. Os 32% restantes (1257 km³) que compõem os 70% de água usados na agricultura são drenados após seu uso nas plantações. Assim, a irrigação é a maior geradora de água poluída no mundo.

Esses dados apontam uma necessidade de tecnologias que sejam capazes de produzir a mesma quantidade de alimentos (ou mais), mas que utilizem menos recursos naturais para fazê-lo.

4.3.1 Panorama Mundo

Diversas soluções para este problema são desenvolvidas todos os dias, por iniciativas públicas ou privadas. A tecnologia de cultivo hidropônico-vertical (chamada aeropônica), tendo como principal exemplo a empresa *AeroFarms* – que ganhou prêmios significativos por suas inovações no ramo – é capaz de cultivar vegetais com apenas 5% da água que é usada em

plantações, e 60% menos que o cultivo hidropônico tradicional, além de não usar pesticidas. Os vegetais são produzidos em galpões fechados, sem uso de solo ou de luz solar, o que também elimina grande parte dos gases do efeito estufa (GEE) lançados na atmosfera através do transporte de alimentos das fazendas até os centros urbanos. Em uma instalação de aproximadamente 6500 m² e 7 andares de cultivo, a empresa pode produzir 772 mil quilos de vegetais anualmente – 130 vezes mais do que uma plantação tradicional de tamanho similar – o que também é uma solução para o problema da fome no mundo. Essa tecnologia, se aplicada em larga escala, diminuiria significativamente as emissões de GEE pela agricultura, além da água utilizada e contaminada pela produção agrícola (AEROFARMS, 2018). É necessário apontar que essa tecnologia ainda está no meio da sua evolução – por enquanto, ela só é capaz de produzir hortaliças e raízes, mas pode ser aplicada, no futuro, na produção de grãos como soja e arroz.

O *FarmBot* é uma invenção que tem potencial de, futuramente, eliminar toda e qualquer poluição na produção agrícola. Uma iniciativa open-source, o *FarmBot* é um robô que pode ser instalado em qualquer horta domiciliar, e é capaz de produzir 33 culturas, que variam desde rúcula, passando por brócolis, feijões, abóboras e morangos. Apenas com uma câmera e um software de gestão agrícola, ele planta e rega as plantas e elimina mecanicamente as pragas. Sua proposta é utilizar menos água nenhum agrotóxico, eliminando a poluição de recursos hídricos. Além disso, é estimado que ele produz 25% menos CO₂ que os modelos normais de produção agrícola (FARMBOT, 2018). É válido falar que o *FarmBot*, se comparado com a tecnologia das *Aerofarms*, pode produzir uma variedade maior de culturas, mas em escala doméstica.

Cientistas da *Chongqing Jiaotong University*, na China, desenvolveram um composto orgânico, feito a base de um material encontrado nas paredes das células vegetais, que, ao ser misturado com areia e uma baixa quantidade de água, se transforma em solo agriculturável, capaz de reter nutrientes próprios e água. Isso possibilita a conversão de solo desértico em plantações produtivas – a experiência, atualmente, é capaz de produzir mais de 70 tipos de culturas, em o que anteriormente eram 200 hectares de deserto da China, e pode transformar outros 13.000 hectares em terra arável nos próximos três anos. Esse processo, mais barato que certas técnicas de cultivo em ambiente fechado, pode ser crucial para combater a desertificação e levar alimentos para regiões mais isoladas do globo (KUO, 2017).

4.3.2 Panorama Brasil

O Brasil lidera o *ranking* de produtividade agropecuária mundial, sendo que, entre 2006 e 2010, o rendimento agropecuário no país aumentou 4,28% anualmente, 1% a mais que o segundo colocado, a China (3,25%) (MAPA, 2017a). Em 2017, o país foi responsável pela produção de 238 milhões de toneladas de grãos, em uma supersafra histórica (MAPA, 2017b). Mas, apesar do seu *status* de grande produtor mundial, o Brasil não tem feito grandes avanços tecnológicos na direção de tornar a sua agricultura mais sustentável. Na verdade, o melhoramento tecnológico no maquinário para cultivo de grandes plantações, apesar de gerar um aumento na produção de alimentos, também gera um uso mais intensivo de solos, água e pesticidas, sendo mais degradante para o meio ambiente.

No entanto, algumas novas tecnologias sustentáveis estão em processo de desenvolvimento no Brasil que, no futuro, poderiam ser aplicadas mais efetivamente na área agropecuária. Uma delas, em especial, é o controle biológico de pragas, sendo que uma das suas maiores representantes é a PROMIP, uma empresa que, através do manejo integrado de pragas – utilizando ferramentas de controle como produtos químicos, parasitas, bactérias, fungos, manejo cultural, plantas iscas, entre outras – é capaz de eliminar as pragas de uma plantação com a mínima liberação de agrotóxicos, algo essencialmente importante para diminuir o índice de poluição das águas (PROMIP, 2018). Além disso, a empresa também pretende reduzir os custos de produção em até 15% se comparado com o controle de pragas tradicional, e também ressalta que as compras de defensivos agrícolas caíram em 30% nos lugares em que atuam.

Apesar da falta de iniciativa de base tecnológica no país, é válido lembrar que é possível realizar incentivos fiscais para trazer iniciativas internas para serem comercializadas dentro do Brasil. Dessa forma, seria possível uma produção agrícola sustentável em larga escala.

4.4 PLÁSTICO PRODUZIDO E RECICLADO

No ano de 2015, foram produzidas 381 milhões de toneladas de plástico anualmente, o que culminou em um valor cumulativo, desde 1950, de 7.8 bilhões de toneladas de plástico. Mensurando a quantidade de plástico que é descartada, ela pode variar ao ano – em 2010, por exemplo, a produção mundial de plástico foi de 270 milhões de toneladas, e foram descartadas cerca de 275 milhões de toneladas, já que plásticos produzidos em outros anos

foram descartados. Essa estatística demonstra uma grande dependência de produtos com base plástica. Atualmente, estima-se que apenas 3% do plástico produzido ao ano atinge os oceanos, resultando em cerca de 8 milhões de toneladas – um número que pode causar danos irreparáveis ao ecossistema marinho (RITCHIE, 2018).

No quesito reciclagem, estima-se que, em 2015, apenas 20% do plástico produzido globalmente foi reciclado, 25% foi incinerado e 55% foi alocado em aterros sanitários. Ainda, entre 1950 e 2015, apenas 9% do plástico produzido foi reciclado (RITCHIE, 2018).

4.4.1 Panorama Mundo

É um consenso mundial que o plástico é um dos maiores inimigos para os ecossistemas oceânicos, e várias empresas estão fazendo o seu melhor para ajudar e resolver essa situação. Muitas estão instituindo políticas ambientais, tentando reduzir o percentual de plástico em seus produtos ou aumentando os seus índices de reciclagem. No entanto, algumas empresas realmente se comprometeram com a proposta e estão em processo de mudança completa do seu modelo de negócios.

A *LUSH*, uma empresa britânica de cosméticos fundada em 1995, recentemente inventou um xampu em barra, que rende o mesmo que três frascos de xampu de tamanho médio e não necessita da embalagem mais sólida requerida por xampus líquidos – a empresa aponta que mais que 30 frascos plásticos podem ser eliminados ao ano por pessoa se essas começarem a aderir a proposta “sem embalagem”. Na verdade, a empresa ainda é responsável por uma linha de produtos completamente livre de embalagens, e todos os seus produtos utilizam o mínimo possível de embalagem – o objetivo é que 100% das embalagens utilizadas na empresa sejam facilmente recicláveis, compostáveis ou biodegradáveis. Ainda é assinalado que, quando não é possível eliminar todo o plástico da sua linha de produção, as embalagens e potes da empresa são 100% feitas de plástico reciclado (LUSH, 2018).

Outra iniciativa saliente na reutilização de plástico são os sapatos feitos à base de plástico dispensado. A *Rothy's* é uma empresa que, através da impressão 3D, imprime os seus pares de sapato a partir de garrafas de plástico descartadas (ROTHY'S, 2018). A *Adidas* também aderiu essa proposta e foi ainda mais longe ao firmar uma parceria com a *Parley* – uma empresa que utiliza plásticos reciclados retirados dos oceanos – resultando em um compromisso de incluir plástico retirado dos oceanos em todos os seus produtos até 2024. A previsão em 2018 é que 5 milhões dos seus produtos sejam feitos com esse plástico (GQ, 2018).

A criação da startup de base tecnológica londrina, *Skipping Rocks Lab*, é uma invenção a base de algas chamada *Ooho!, the edible water bottle*. É uma embalagem esférica feita 100% a base de algas, de forma totalmente natural, biodegradável na natureza (entre 4 e 6 semanas) e comestível. Em comparação com as garrafas plásticas tradicionais, o material criado pela empresa emite apenas 20% do CO₂, usa apenas 10% da energia e pode ser produzido por apenas 2 centavos de libra, um valor muito inferior ao habitual. O objetivo final da empresa é prover uma alternativa para todas as embalagens plásticas utilizadas no mundo, não apenas de água, mas de outros produtos líquidos (OOHO!, 2018).

4.4.2. Panorama Brasil

O Brasil, em 2015, foi responsável pela produção de 11,85 milhões de toneladas de plástico, sendo que 9% desse plástico não recebe destinação correta, tendo altas chances de acabar nos oceanos – isso é o equivalente a 20 gramas de plástico por pessoa ao dia. Apesar disso, esses 9% do Brasil representam apenas 1,48% de todos os plásticos que são lançados nos oceanos anualmente, sendo que a maior poluidora é a China, responsável por 27,7% do total (RITCHIE, 2018).

Nesse caso, o Brasil desenvolveu algumas tecnologias e processos que podem ajudar a aumentar o índice de reciclagem e reaproveitamento de plástico no dia-a-dia da população. Dentre elas, está a máquina – o NEX – desenvolvida por pesquisadores do Polo de Eletrônica de Santa Rita do Sapucaí, que é capaz de reaproveitar a agulha e o plástico do material hospitalar através de um processo de elevação de temperatura que esteriliza e derrete o material. Além dela, uma parceria entre empresas privadas desenvolveu um modelo – o plasma – que, através de um jato de alta temperatura suprido à eletricidade, aquece embalagens e separa o alumínio e o plástico dos materiais longa-vida. Essa tecnologia pode processar 8 mil toneladas de alumínio e plástico ao ano (SILVA, 2016).

4.5 QUADRO GERAL – COMPARATIVO

De forma a melhor visualizar as informações apresentadas nos itens anteriores, foi elaborado um quadro geral (Quadro 3).

Quadro 3 – Poluição dos modelos tradicionais e suas alternativas sustentáveis.

Área	Poluição	Mundo	Brasil
Transporte	7.493.682.396 toneladas de CO2/ano.	Veículos privados elétricos	Ônibus elétrico movido a energia solar da UFSC
Energia Elétrica	13.381.575.707 toneladas de CO2/ano.	Placas solares	-
		Turbina Turbulent	
		Turbina Waterotor	
		Turbina Vortex Bladeless	
		Ciclovias que brilham Energia humana do TGO	
Produção Agrícola	12.846.312.678,72 toneladas de CO2/ano.	Aerofarms (cultivo aeropônico)	Manejo integrado de pragas da PROMIP
		Farmbot (cultivo doméstico)	
		Pasta chinesa contra desertificação	
Plástico	381 milhões de toneladas de plástico/ano.	LUSH - mínimo de embalagens e embalagens ecológicas	NEX - reutilização de plástico e agulha de seringas
		Sapatos de garrafas plásticas da Rothy's	Plasma que separa alumínio do plástico
		Sapatos de plástico retirado do oceano da Adidas.	
		Ooho! A garrafa comestível da Skipping Rocks Lab	

Fonte: Autora.

O Quadro 3 reúne as tecnologias por área explicadas nos itens anteriores, demonstrando o potencial que tecnologias da Indústria 4.0 tem de poupar o meio ambiente de poluições decorrentes dos modelos tradicionais de produção e consumo, tanto em toneladas de CO₂ produzidas, e a consequente parte delas que são lançadas na atmosfera, quanto em toneladas de plástico que são produzidos e a consequente parte deles que são lançados nos rios e mares. É importante lembrar que as tecnologias citadas nos itens anteriores e no Quadro 3 são apenas algumas das várias iniciativas que estão surgindo tanto no âmbito nacional quanto internacional. É necessário manter a pesquisa constantemente atualizada através de notícias, relatórios e artigos, já que a Quarta Revolução Industrial também permitiu um avanço tecnológico muito mais rápido e eficiente do que as revoluções anteriores, além do fato de que o público em geral está tomando um conhecimento maior da necessidade de desenvolver novas tecnologias que possam contribuir para um Desenvolvimento Sustentável mundialmente.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho sucedeu em seu objetivo de elaborar um panorama entre a situação nacional e mundial de atividades e tecnologias que orientem a alternativas sustentáveis de produção e consumo. Foi possível avaliar os impactos dos modelos vigentes e como as novas tecnologias podem ajudar a estabelecer a sustentabilidade mundialmente.

É possível concluir que modelos tradicionais de produção e consumo são prejudiciais para a busca de um Desenvolvimento Sustentável a nível mundial, e que as tecnologias da Quarta Revolução Industrial são uma alternativa eficaz para modificar os efeitos de consumo da sociedade para algo que desperdice menos água, menos recursos naturais, produza, consuma e desperdice menos plástico, produza menos CO₂, menos agrotóxicos e viva de uma maneira geral em melhor sintonia com o planeta. Muitas dessas tecnologias ainda não são tão eficientes quanto podem se tornar nos próximos cinco ou dez anos, e esse é um dos motivos pelos quais deve haver o maior incentivo possível por parte de governos, empresas e pessoas privadas para o desenvolvimento dessas tecnologias. Ainda assim, já é possível verificar uma mudança significativa da situação atual através dessas tecnologias e iniciativas e pode-se projetar uma ideia de como seria o futuro se todas elas se desenvolvessem e fossem aplicadas de maneira correta. É certo que ainda há grandes mudanças para ocorrer.

Pode-se verificar a importância deste trabalho no ambiente acadêmico especialmente pela falta de trabalhos e artigos que abordem o assunto em pauta, além de ser um tema ao qual estudantes universitários tem o poder de agregar um vasto conhecimento e experiência. Na esfera privada, este trabalho encontra seu valor no tema abordado, que ainda é muito pouco discutido atualmente, de maneira prática e concisa, expondo uma oportunidade para as empresas e pessoas privadas e, possivelmente, encontrar espaço para melhor se desenvolver.

Ainda é possível verificar uma oportunidade de desenvolvimento e expansão do presente trabalho, especialmente na área de viabilidade econômica e análise financeira nacional e mundial de uma situação hipotética onde as tecnologias da Quarta Revolução Industrial ganhassem espaço físico significativo na esfera pública e privada no mundo, além da mensuração de efeitos para o meio ambiente nessa situação hipotética.

REFERÊNCIAS

- AEROFARMS. Disponível em: <<https://aerofarms.com/>>. Acesso em 25 out, 2018.
- BBC. **Holanda inaugura ciclovía que brilha no escuro**, 2014. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/11/141113_ciclovía_holanda_brilhass>. Acesso em: 28 out, 2018.
- CARVALHO, N. et al. Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing. **Procedia Manufacturing**, v. 21, p. 671 – 78, 2018.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balço Energético Nacional – Relatório Síntese**, 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf>. Acesso em: 08 nov, 2018.
- FARMBOT, 2018. Disponível em: < <https://farm.bot/>>. Acesso em 25 out, 2018.
- G1. **Governo zera imposto de importação para carro elétrico e a hidrogênio**, 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/carros/noticia/2015/10/governo-zera-imposto-de-importacao-para-carro-eletrico-e-hidrogenio.html>>. Acesso em: 02 nov, 2018.
- G1. **Pesquisadores da UFSC criam ônibus elétrico movido a energia solar**, 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2016/09/pesquisadores-da-ufsc-criam-onibus-eletrico-movido-energia-solar.html>>. Acesso em: 02 nov, 2018.
- GQ. **Adidas pretende usar plástico reciclado dos oceanos em todos os seus produtos até 2024**, 2018.
- JOVANE, F. et al. The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing. **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, v. 57, p. 641 – 59, 2008. Disponível em: < <https://gq.globo.com/Estilo/Moda-masculina/noticia/2018/03/adidas-pretende-usar-plastico-reciclado-dos-oceanos-em-todos-seus-produtos-ate-2024.html>>. Acesso em: 10 nov, 2018.
- KUO, F. New Technology in China turns desert into land rich with crops. **CGTN**, 2017. Disponível em: < <https://america.cgtn.com/2017/09/13/new-technology-in-china-turns-desert-into-land-rich-with-crops>>. Acesso em: 05 nov, 2018.
- LEDUC, M.; MATTHEWS, H.; ELÍA, R. Regional estimates of the transient climate response to cumulative CO2 emissions. **Nature Climate Change**, 2016. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nclimate2913>>. Acesso em: 26 out, 2018.
- LUSH. **Our Green Policy**. Disponível em: <<https://www.lushusa.com/about-green-policy-intro.html>>. Acesso em: 10 NOV, 2018.
- MATASCI, S. What are the best solar panels on the market? The complete ranking. **Energy Sage**, 2018. Disponível em: < <https://news.energysage.com/best-solar-panels-complete-ranking/>>. Acesso em: 03 out, 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Brasil lidera produtividade agropecuária mundial**, 2017 a. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/noticias/brasil-lidera-productividade-agropecuaria-mundial>>. Acesso em: 10 out, 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Brasil lidera produtividade agropecuária mundial**, 2017 b. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/noticias/ano-excepcional-na-producao-agricola-brasileira>> . Acesso em: 10 out, 2018.

MORENO, F. Energia solar se torna mais barata que petróleo pela primeira vez na história. **StartSe**, 2017. Disponível em: < <https://startse.com/noticia/energia-solar-mais-barata-que-petroleo>>. Acesso em: 20 out, 2018.

MORRAR, R.; ARMAN, H.; MOUSA, S. The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective. **Technology Innovation Management Review**, v.7, issue 11, 2017.

NASCIMENTO, R. Energia Solar no Brasil: Situação e Perspectivas. **Câmara dos Deputados**, 2017.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**, 2013. Disponível em: <http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf>. Acesso em: 18 mai, 2018.

OOHO!. **Water you can eat**. Disponível em:<<http://www.oohowater.com/>>. Acesso em: 09 nov, 2018.

PASCALL, T. **Innovation and Industry 4.0: Disruption**, 2017. Disponível em: <<https://disruptionhub.com/innovation-industry-4-0/>> . Acesso em: 26 maio, 2018.

PERKINS, L. **We don't need to consume less – we just need to design better products**, 2017. Disponível em: < <https://www.weforum.org/agenda/2017/02/why-we-dont-need-to-worry-about-consuming-less> >. Acesso em: 16 jun, 2018.

PROMIP. **Soluções para o manejo biológico de pragas**. Disponível em: <<http://promip.agr.br/>> . Acesso em: 10 nov, 2018.

QUORA. **What is the percentage of carbono in CO₂ gas?**, 2017. Disponível em: <<https://www.quora.com/What-is-the-percentage-of-carbon-in-CO2-gas>>. Acesso em: 20 out, 2018.

RITCHIE, H; ROSER, M. Plastic Pollution. **Our World in Data**, 2018. Disponível em: < <https://ourworldindata.org/plastic-pollution#global-plastic-fate>>. Acesso em: 10 nov, 2018.

ROTHY'S. **About us**. Disponível em:< <https://rothys.com/about>>. Acesso em: 10 nov, 2018.

SACHS, J. **The Age of Sustainable Development**. Nova York: Columbia University Press, 2015.

SCHMITT, K. **Top 5 Reasons Why Industry 4.0 Is Real And Important**: Digitalist Magazine, 2013. Disponível em: < <https://www.digitalistmag.com/industries/manufacturingindustries/2013/10/15/top-5-reasons-industry-4-0-realimportant-0833970> >. Acesso em: 02 jun, 2018.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. Genebra: Crown Business, 2017.

SHI, Y; CHEN, G; CHEN, Z. Effective regeneration of LiCoO₂ from spent lithium-ion batteries: a direct approach towards high-performance active particles. **Green Chemistry**, issue 4, 2018.

SILVA, A. 7 Tecnologias criativas voltadas para a reciclagem, 2016. **Impacto Ambiental**. Disponível em: < <http://www.impactounesp.com.br/2016/11/7-tecnologias-criativas-voltadas-para.html> >. Acesso em: 08 nov, 2018

SUNPOWER. **Powering a brighter tomorrow**, 2015. Disponível em: < <https://us.sunpower.com/solar-resources/sunpower-progress-toward-brighter-tomorrow/> >. Acesso em: 20 out, 2018.

TESLA MOTORS. Disponível em: < <https://www.tesla.com/models> >. Acesso em: 28 out, 2018.

TGO. **Green Energy**. Disponível em: <<http://www.tgogc.com/Green-Energy.html>> . Acesso em: 30 out, 2018.

THE WORLD BANK. **Data Catalog**. Disponível em: <<https://datacatalog.worldbank.org/>>. Acesso em: 26 out, 2018.

TURBULENT. Disponível em: <https://www.turbulent.be/>. Acesso em: 28 out, 2018.

UNESCO. **The United Nations World Water Development Report**, 2017. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247553e.pdf>>. Acesso em: 10 nov, 2018.

UNITED NATIONS. **Sustainable Development Goals**, 2015a. Disponível em: <http://www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/brochure/SDGs_Booklet_Web_En.pdf>. Acesso em: 28 maio, 2018.

UNITED NATIONS. **The 2030 Agenda for Sustainable Development**, 2015b. Disponível em:<<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> >. Acesso em: 28 mai, 2018.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **The United Nations World Water Development Report**, 2017. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247553e.pdf>>. Acesso em: 02 nov, 2019.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Global Greenhouse Gas Emissions Data**, 2015. Disponível em: <

<https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>> . Acesso: 26 out, 2018.

VORTEX BLADELESS. **How it works**. Disponível em: <<https://vortexbladeless.com/technology-design/>>. Acesso em: 29 out, 2018.

WAHLSTER, W. **From Industry 1.0 to Industry 4.0: Towards the 4th Industrial Revolution**. FORUM BUSINESS MEETS RESEARCH, 2012, Kirchberg.

WATEROTOR. **Our solution**. Disponível em: <<https://waterotor.com/our-solution/>>. Acesso em: 03 nov, 2018.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Driving the Sustainability of Production Systems with Fourth Industrial Revolution Innovation**, 2018 a. Disponível em: <<https://www.weforum.org/whitepapers/driving-the-sustainability-of-production-systems-with-fourth-industrial-revolution-innovation>>. Acesso em: 8 abr, 2018.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Harnessing the Fourth Industrial Revolution for Sustainable Emerging Cities**, 2017. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_the_4IR_for_Sustainable_Emerging_Cities.pdf>. Acesso em: 20 abr, 2018.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Internet of Things Guidelines for Sustainability**, 2018 b. Disponível em: <<https://www.weforum.org/whitepapers/internet-of-things-guidelines-for-sustainability>>. Acesso em: 12 abr, 2018.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE. **Living Planet Report**, 2010. Disponível em: <<http://wwf.panda.org/?195675/LivingPlanetReport2010>>. Acesso em: 07 mai, 2018.