

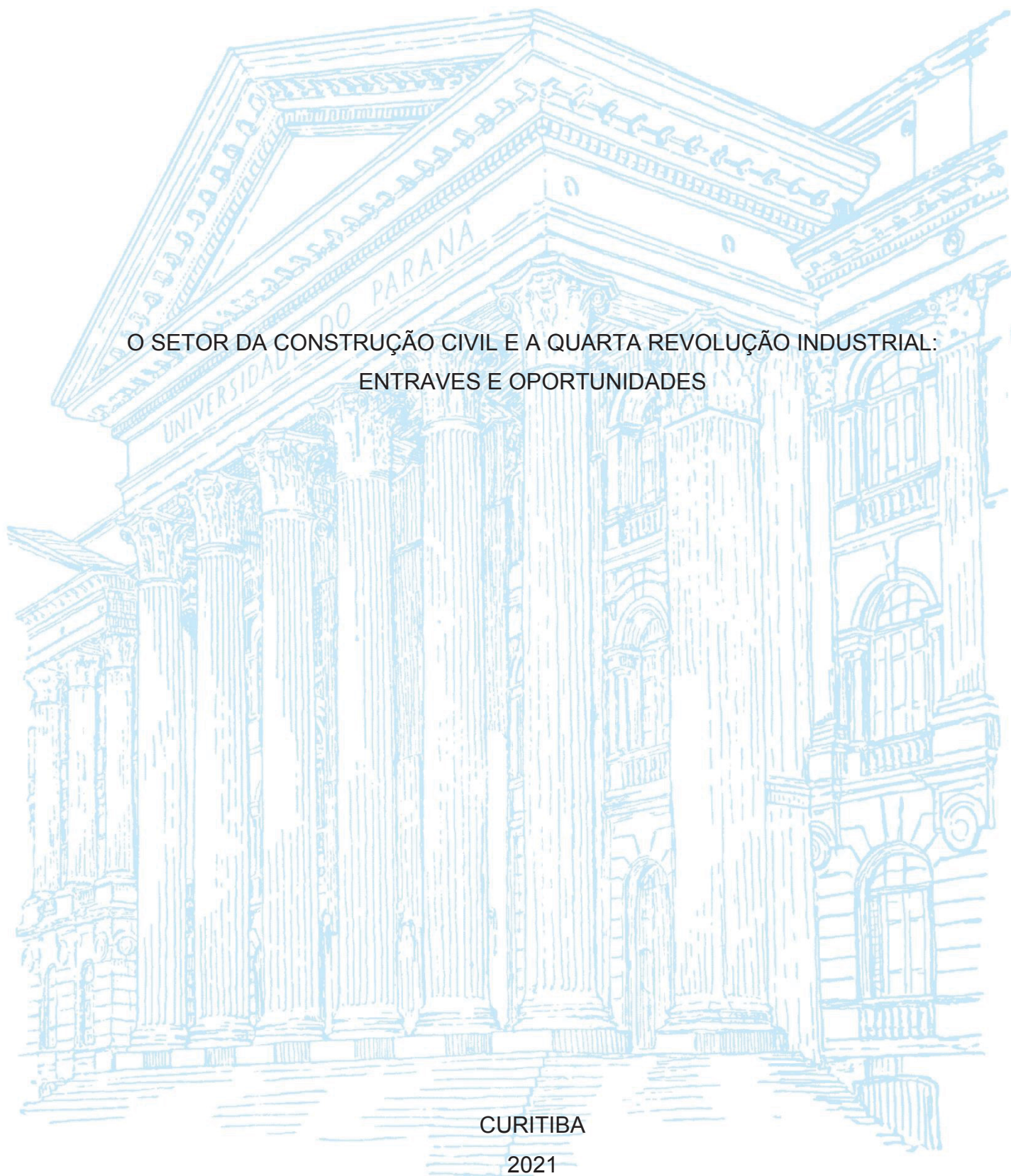
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDRE LUIZ ALMEIDA RÖCKER

O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL:  
ENTRAVES E OPORTUNIDADES

CURITIBA

2021



ANDRE LUIZ ALMEIDA RÖCKER

O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL:  
ENTRAVES E OPORTUNIDADES

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em MBA Gestão Estratégica, Setor de Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Estratégica.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme F. Frederico

CURITIBA  
2021

TERMO DE APROVAÇÃO

ANDRE LUIZ ALMEIDA RÖCKER

O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL:  
ENTRAVES E OPORTUNIDADES

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em MBA Gestão Estratégica, Setor de Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Estratégica.

\_\_\_\_\_  
Prof(a). Dr(a)/Msc. \_\_\_\_\_

Orientador(a) – Departamento \_\_\_\_\_, INSTITUIÇÃO

\_\_\_\_\_  
Prof(a). Dr(a)/Msc. \_\_\_\_\_

Departamento \_\_\_\_\_, INSTITUIÇÃO

\_\_\_\_\_  
Prof(a). Dr(a)/Msc. \_\_\_\_\_

Departamento \_\_\_\_\_, INSTITUIÇÃO

Curitiba, \_\_ de \_\_\_\_\_ de 2021.

*“A vida das técnicas é sistêmica e sua evolução também o é. Conjuntos de técnicas aparecem em um dado momento, mantêm -se como hegemônicos durante um certo período, constituindo a base material da vida da sociedade, até que outro sistema de técnicas tome o lugar. É essa a lógica de sua existência e de sua evolução.” (Milton Almeida dos Santos, 1996)*

## RESUMO

Ao longo dos últimos anos a indústria global vem experienciando profundas transformações provenientes da Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0, por meio de tecnologias como a Internet das Coisas, Sistemas Cyber-físicos, Inteligência Artificial, Big Data, Computação em Nuvem, entre outras. Entretanto, o setor da construção civil, historicamente apático as mudanças, pouco tem desempenhado para se adaptar a esta nova realidade. Deste modo, esta pesquisa tem como objetivo explorar as contribuições das tecnologias advindas da Quarta Revolução Industrial nos processos organizacionais das empresas do setor da construção civil, visando destacar as oportunidades e entraves. Para tal, esta pesquisa tem caráter exploratório e descritivo com abordagem qualitativa e quanto ao método, refere-se a uma pesquisa bibliográfica. Através dos resultados desta pesquisa, foram apontadas as tecnologias mais proeminentes no setor da construção civil, como a manufatura aditiva, os equipamentos construtivos, os sistemas computacionais de modelagem e as inovações na prevenção de acidentes e segurança do trabalhador, assim como as respectivas estratégias de implementação. Ao final, conclui-se que o setor da construção tem se beneficiado de algumas tecnologias, contudo ainda existe um grande potencial de exploração sob o contexto da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Construção Civil; Manufatura Aditiva; Equipamentos Construtivos; Plataforma BIM; Segurança do Trabalho.

## **ABSTRACT**

Over the past few years, the global industry has been experiencing profound changes arising from the Fourth Industrial Revolution, also known as Industry 4.0, through technologies such as the Internet of Things, Cyber-Physical Systems, Artificial Intelligence, Big Data, Cloud Computing, among others. However, the civil construction sector, historically apathetic to changes, has scarcely done to adapt to this new reality. Thus, this research aims to explore the contributions of technologies arising from the Fourth Industrial Revolution in the organizational processes of companies in the civil construction sector, highlighting the opportunities and barriers. Accordingly, this research has an exploratory and descriptive character with a qualitative approach and as to the method, it refers to a bibliographical research. Through the results of this research, they were identified as the most prominent technologies in the civil construction sector, such as additive manufacturing, construction equipment, computer modeling systems and innovations in accident prevention and worker safety, as well their implementation strategies. In the end, it is concluded that the construction sector has benefited from some technologies, however there is still a great potential for exploration under the context of Industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0; Civil Construction; Additive Manufacturing; Constructive Equipment; BIM; Workplace Safety.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
1.2.1 Objetivo geral .....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
<b>1.3 METODOLOGIA</b> .....	<b>18</b>
<b>1.4 ESTRUTURA DO TEXTO</b> .....	<b>19</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 O PROCESSO HISTÓRICO DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E OS SEUS EFEITOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2 A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: INDÚSTRIA 4.0</b> .....	<b>24</b>
2.2.1 O surgimento da Quarta Revolução Industrial.....	24
2.2.2 Os conceitos.....	25
2.2.3 As tecnologias e inovações advindas.....	26
2.2.4 Os princípios fundamentais .....	29
2.2.5 O panorama brasileiro .....	31
2.2.6 As implicações no cenário nacional .....	34
2.2.7 Os desafios da implementação .....	36
<b>2.3 A INDUSTRIA 4.0 APLICADA AO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	<b>40</b>
2.3.1 Entraves .....	42
2.3.2 Oportunidades .....	43
<b>3 RESULTADOS</b> .....	<b>46</b>
<b>3.1 MANUFATURA ADITIVA</b> .....	<b>46</b>
3.1.1 Implementação .....	49
<b>3.2 EQUIPAMENTOS CONSTRUTIVOS</b> .....	<b>51</b>
3.2.1 Implementação .....	52
<b>3.3 MODELAGEM COMPUTACIONAL – PLATAFORMA BIM</b> .....	<b>53</b>
3.3.1 Implementação .....	55
<b>3.4 SEGURANÇA NO TRABALHO</b> .....	<b>59</b>
3.4.1 Implementação .....	60
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem grande importância econômica para diversos países, sobretudo para aqueles em desenvolvimento, como o Brasil. Com a industrialização, houve a substituição da mão de obra humana por máquinas nas operações mais pesadas dos canteiros de obra. Entretanto, o setor ainda faz uso de métodos construtivos artesanais e as atitudes tomadas ao longo das últimas décadas para a adoção de tecnologias emergentes foram escassas. Isso se deve a cultura predominantemente tradicionalista e antipática diante da inovação. Por conseguinte, a construção civil ainda é reconhecida pela baixa produtividade, baixo controle de qualidade dos seus produtos, qualificação insuficiente da mão de obra e grande desperdício de materiais.

As demandas do mercado e dos consumidores têm se tornado maiores e mais rigorosas, exigindo do setor manufatureiro mais agilidade, eficiência e produtividade. Em meio a estas mudanças emergiu um novo modelo industrial, a Quarta Revolução Industrial. Diante das adversidades apresentadas, o momento é oportuno para o setor da construção civil rever as suas ferramentas, técnicas e métodos empregados, buscando maior resiliência defronte as rápidas transformações que o mercado e os demais setores industriais tem experimentado.

A Quarta Revolução Industrial é caracterizada pela digitalização dos processos e integração das máquinas e sistemas computacionais através da rede. Associando o meio físico ao meio digital, a internet se tornou o principal elemento de interação entre as pessoas e as máquinas. A implementação das inovações tecnológicas da Quarta Revolução tem causado impactos significativos na sociedade, cultura e economia devido aos novos padrões de produção, consumo, comércio, trabalho e relações interpessoais (SIMÃO et al., 2019; CAVALCANTI et al., 2018).

A Revolução Industrial vigente é amplamente identificada pelo termo “Indústria 4.0”. Este termo foi primeiramente difundido por meio de um plano estratégico da Alemanha para a promoção da alta tecnologia no seu país e atualmente também pode ser reconhecido através de outros termos como: Manufatura Avançada, Indústria Inteligente e Internet das Coisas (CAVALCANTI, 2018).

De acordo com dados do IBGE em 2018 a crise econômica de 2014 reduziu a participação do setor da construção civil no PIB de 6,5%, em 2012, para 4,5% em 2018. A combinação do baixo volume de lançamentos e de vendas com o elevado

índice de distrato desencadearam a extinção de milhares de postos de trabalho e no encerramento das atividades de diversas empresas do setor. A Quarta Revolução Industrial apresenta enorme potencial de ganho ao longo de toda cadeia de valor e durante o ciclo de vida dos empreendimentos da indústria da construção civil, quando empregados da forma correta, cabendo destacar alguns exemplos como: otimização da gestão dos recursos, aprimoramento das atividades de edificação, redução dos custos do projeto final, aumento da segurança dos trabalhadores e o desenvolvimento sustentável do negócio (GOMES, 2018; TEIXEIRA et al., 2020). Devido as adversidades enfrentadas e o potencial inexplorado, a construção civil deve repensar as suas estratégias em relação a adoção das inovações da Indústria 4.0, objetivando a recuperação econômica do seu setor e o aumento da produtividade e competitividade.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Avaliando o atual cenário do setor de construção civil no Brasil e considerando a iminência do uso da tecnologia em todos os processos da atualidade, esta pesquisa buscará analisar quais as consequências das inovações provenientes da Quarta Revolução Industrial e elaborar estratégias a serem adotadas pelas empresas desse setor, pautadas em novas tecnologias, visando o aumento da sua competitividade e produtividade.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desse estudo é desenvolver uma pesquisa teórica a partir da identificação e análise das tecnologias advindas da Quarta Revolução Industrial para a aplicação na cadeia produtiva de empresas do setor da construção civil. Serão expostos as oportunidades e os entraves no cenário da construção, bem como o andamento e aceitação no Brasil.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos secundários desta pesquisa são:

- Contextualizar o processo histórico das Revoluções Industriais e os seus efeitos sobre o setor da construção civil;
- Contextualizar a Quarta Revolução Industrial;
- Elaborar estratégias para a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 dentro das empresas.

### **1.3 METODOLOGIA**

A pesquisa tem caráter exploratório e descritivo com abordagem qualitativa, de modo a fornecer informações e estabelecer as bases para futuros estudos. Será utilizado a revisão bibliográfica no delineamento da pesquisa qualitativa, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, objetivando torná-lo explícito e construir hipóteses. A respeito dos procedimentos metodológicos, a pesquisa será desenvolvida em três fases: levantamento bibliográfico e documental; organização lógica do assunto; e redação do relatório.

Visando atender o objetivo desta pesquisa, o trabalho será estruturado em 3 etapas. A primeira etapa será a conceituação temática e constituirá o embasamento teórico da pesquisa, abordando os processos e tecnologias da Quarta Revolução Industrial, assim como a situação da implementação na indústria brasileira. Através do levantamento bibliográfico, serão extraídas as seguintes informações: conceitos e teorias utilizados(as) para realização da pesquisa; principais autores utilizados na construção do referencial teórico; metodologias de pesquisa utilizadas para estudo; e principais resultados obtidos em pesquisas realizadas a respeito do tema.

A segunda etapa abrigoará a interpretação da realidade, devendo construir um percurso diagnóstico do panorama da Indústria 4.0 no setor da construção civil no Brasil, apontando os entraves e oportunidades da adoção das inovações tecnológicas.

A terceira e última etapa destina-se a identificar as tecnologias proeminentes da Indústria 4.0 para aplicação no setor da construção. Desse modo, será elaborado estratégias para a implementação dessas tecnologias, fundamentada no arcabouço teórico desenvolvido pela pesquisa, objetivando ganhos de competitividade e produtividade dentro das empresas no setor da construção civil.

## 1.4 ESTRUTURA DO TEXTO

Visando atender o objetivo central desta pesquisa, o trabalho estrutura-se em quatro capítulos, distribuídos da seguinte forma:

O capítulo introdutório tem como objetivo apresentar ao leitor, de maneira breve, a proposta do trabalho. Á vista disso, busca-se justificar o estudo, traçar os objetivos principais e secundários e definir a metodologia de pesquisa.

O segundo capítulo refere-se a Revisão Bibliográfica e está dividido em 3 sessões. A primeira destina-se a discorrer sobre o processo histórico das Revoluções Industriais com enfoque nos seus efeitos sobre a construção civil. A segunda seção consiste na conceituação e definição da Quarta Revolução Industrial, compreendendo o seu panorama no setor industrial brasileiro e as expectativas. A terceira e última sessão explora os entraves e oportunidades da aplicação das tecnologias advindas da Indústria 4.0 no setor da construção civil no âmbito nacional.

O terceiro capítulo apresenta as tecnologias mais relevantes na atualidade e a partir desse levantamento, realiza-se a análise dos seus efeitos na cadeia produtiva e as medidas necessárias para a implementação pelas empresas da construção civil.

O quarto capítulo e último é dedicado a expor a conclusão do estudo a partir das análises realizadas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O presente capítulo tem como propósito apresentar e discutir conceitos que subsidiam a estruturação do trabalho, a compreensão da problemática estudada e as análises posteriores.

### **2.1 O PROCESSO HISTÓRICO DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E OS SEUS EFEITOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Desde o início da industrialização, a partir do século XVIII, cada uma das Revoluções Industriais impactou significativamente no desenvolvimento tecnológico da sociedade até os dias atuais, através de mudanças céleres e profundas que somente seriam possíveis, em condições normais, com anos de pesquisas e desenvolvimento (ALALOUL et al., 2020; RIBEIRO, 2019).

As primeiras Revoluções Industriais são caracterizadas pela difusão das máquinas, resultando na substituição do trabalho humano e animal por aparatos mecanizados. A constatação dos ganhos de eficiência a patamares nunca observados antes assegurou o constante aperfeiçoamento das tecnologias e métodos, tornando-os fatores fundamentais para o desenvolvimento da economia dos séculos seguintes (DATHEIN, 2003).

A Primeira Revolução Industrial foi marcada pela introdução das primeiras máquinas a vapor, sendo determinantes para mudança da estrutura econômica baseada na produção agrícola para uma apoiada na produção industrial (ALALOUL et al., 2020). O carvão tornou-se a fonte de energia dos motores, produzindo movimento através da vaporização da água. Tais motores viabilizaram a criação do tear mecânico, possibilitando a confecção de peças mais elaboradas e maior rapidez na fabricação. A produção em massa transformou a indústria têxtil do algodão por completo, convertendo o sistema de produção de manufatura para o fabril (RIBEIRO, 2019; CAVALCANTI et al., 2018; DATHEIN, 2003).

No que tange os meios de transportes podem ser citados o emprego dos motores a vapor como meio de tração em navios e locomotivas, possibilitando o aumento da capacidade de carga e velocidade dos meios de transporte (RIBEIRO, 2019; CAVALCANTI et al., 2018).

A Primeira Revolução Industrial também contribuiu para o setor da construção civil. Os progressos alcançados na utilização do carvão mineral como fonte de energia possibilitaram a fundição com coque e, consecutivamente, a produção do ferro em escala industrial. Através dos processos de descarbonização, de laminação, uso de jato de ar quente e do martelo a vapor foi possível fabricar peças com maior qualidade e agilidade, oportunizando a incorporação do ferro na indústria da construção civil (DATHEIN, 2003). Os avanços que ocorreram nos meios de transporte, através da ampliação das estradas de ferro e do aprimoramento das locomotivas e dos navios a vapor propiciaram a redução dos custos e aceleraram a forma com que a matéria prima das construções chegava às obras (RIBEIRO, 2019).

A partir da década de 1870, por meio da introdução da energia elétrica e a sua utilização prática, teve início a Segunda Revolução Industrial, favorecendo o surgimento e propagação da produção em massa (ALALOUL et al., 2020). Durante a Segunda Revolução o conhecimento científico e os laboratórios de pesquisa passaram a ser incorporados pela indústria, uma característica preservada até os dias atuais. O surgimento do mercado de massa, sobretudo nos Estados Unidos da América, foi possível através da produção massiva de bens padronizados, da organização científica e divisão do trabalho, dos processos automatizados e da expansão do consumo de bens duráveis – os ganhos de produtividade foram paulatinamente sendo transmitidos aos salários da classe trabalhadora. Desse modo, os processos de concentração e centralização do capital oportunizaram um grande aumento de escala das empresas e o domínio da oferta de produtos e serviços por elas no mercado (CAVALCANTI et al., 2018; DATHEIN, 2003).

O desenvolvimento do aço e o aperfeiçoamento das técnicas de extração e refinamento do petróleo no século XIX possibilitaram grandes avanços nos setores industriais. O aço substituiu rapidamente o ferro nas mais diversas aplicações após a invenção do processo de Bessemer e do forno Siemens-Martin, que reduziram o custo de produção em cerca de 80% a 90% em apenas duas décadas. O petróleo, por sua vez, substituiu progressivamente o carvão como fonte de energia devido ao poder calorífico dos seus derivados e da facilidade de extração e armazenamento. A criação dos motores a combustão interna suscitou o aprimoramento dos meios de transporte, tornando-os mais eficientes e rápidos, ocasionando profundas transformações no deslocamento de passageiros e cargas (DATHEIN, 2003).

Os avanços tecnológicos da Segunda Revolução Industrial são identificados no setor da construção civil por meio da invenção do concreto armado, da produção do aço em larga escala e dos progressos no setor de transportes. O concreto moderno começou a ser utilizado após o registro da patente do cimento Portland por John Aspdin. Entretanto, o emprego do concreto armado na construção civil somente se popularizou após os esforços de Gustav Adolf Wayss e François Hennebique em desenvolver um sistema construtivo industrializado. O concreto armado é composto pela utilização conjunta do concreto e aço, que tem a função de resistir, respectivamente, aos esforços de compressão e tração. Essa combinação possibilita a construção de estruturas de concreto mais resistentes, esbeltas e das mais variadas formas geométricas (ISAIA et al., 2017). A expansão das obras de engenharia, da construção naval e das estradas de ferro geraram um grande crescimento da produção de aço e, conseqüentemente, da indústria metalúrgica. Através da técnica desenvolvida por Henry Bessemer para converter o ferro em aço em escala industrial e, posteriormente, aperfeiçoada por Thomas e Gilchrist foi possível reduzir os custos de produção e tornar economicamente viável o emprego do aço na construção civil. Assim como sucedeu na Primeira Revolução Industrial, as inovações implementadas no setor de transportes proporcionaram a redução dos custos e do tempo de transporte dos materiais de construção (RIBEIRO, 2019; DATHEIN, 2003).

As técnicas, outrora restritas e dependentes do espaço geográfico, eram tão diversas quanto os lugares e os grupos humanos. As particularidades de cada região determinavam como os seus habitantes, por meio da inteligência, faziam uso dos recursos naturais disponíveis e por conseguinte estruturavam as suas técnicas, sistema político, regime econômico e cultura. No percurso da história, as técnicas foram sendo transmitidas e assimiladas pelos diferentes grupos humanos através da aceitação ou imposição, resultando na fusão, supressão ou integração daquelas existentes. À medida que o câmbio entre grupos se intensificava e expandia geograficamente, mais complexas e homogêneas as técnicas se tornavam. A expansão do capitalismo, a partir do século XVI, possibilitou as trocas intercontinentais e transoceânicas de bens e pessoas, posteriormente acentuada pelo domínio de grandes porções do território global pelos impérios coloniais. A partir do desfecho da Segunda Guerra Mundial e o colapso dos impérios, houve o surgimento de diversas nações, a fundação de organismos supranacionais e a eclosão de uma sociedade baseada na informação e consumo. O século XX foi um período marcado por

mudanças profundas e céleres da economia, política, sociedade e tecnologia. Dentro desse contexto emergiu a Terceira Revolução Industrial (SANTOS, 2003).

Datando do início da década de 1970, a Terceira Revolução é caracterizada pela racionalidade, universalização das técnicas, instantaneidade da informação e alcance global. Este período é referenciado também como Revolução Digital, Revolução Informacional ou Revolução Técnico-Científico-Informacional (SANTOS, 2003). As inovações aplicadas a produção industrial incluem o desenvolvimento da computação, automação, tecnologia de informação (TI), utilização de múltiplas fontes de energia – renováveis e não renováveis – e do fenômeno da globalização. As máquinas automatizadas passaram a substituir gradativamente a mão de obra humana, resultando na redução dos custos de produção e potencialização da produtividade (ALALOUL, et al., 2019; RIBEIRO, 2019).

Acompanhando os avanços tecnológicos dos demais setores industriais, a construção civil passou a empregar a computação, a robótica, a industrialização da produção dos materiais de construção e do processo construtivo. A computação contribuiu para elaboração de projetos mais robustos e detalhados, através da utilização de softwares CAD (*computer aided design*), e facilitou o planejamento e controle das obras. A robótica possibilitou a realização de atividades repetitivas com agilidade, precisão e resistência, contribuindo para a produção de materiais de construção de forma mais econômica e eficiente. A industrialização da produção dos componentes assegurou o alto controle de qualidade do produto final, baixa variabilidade, custos reduzidos, rapidez na entrega e produção em escala. Assim sendo, a fabricação dos componentes passou a ser realizado dentro do ambiente controlado das fábricas, abandonando o canteiro de obras (RIBEIRO, 2019). Com relação ao processo construtivo, o setor da construção civil incorporou filosofias de gerenciamento amplamente difundidas em outras indústrias, como o *Lean Thinking* (Mentalidade Enxuta). Os conceitos do Sistema Toyota de Produção (*Toyota Production System* - TPS) fundamentaram a elaboração da filosofia *Lean*, que apesar do desenvolvimento direcionado para a indústria automobilística, oportunizou excelentes ganhos de competitividade nos setores que a implementaram. O TPS preconiza a eliminação absoluta do desperdício, resultando na entrega do produto final no menor prazo possível, na qualidade mais alta e ao custo mais baixo. Todavia, a construção civil possui características distintas do ambiente de manufatura onde o TPS foi desenvolvido, dessa forma houve a necessidade de desenvolver ferramentas

específicas e modificar as existentes para se adequarem ao contexto deste setor. Assim surgiu o *Lean Construction* (Construção Enxuta), uma ramificação dedicada ao atendimento das necessidades de um setor complexo e diversificado (VIEIRA, 2015; PICCHI, 2003).

## **2.2 A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: INDÚSTRIA 4.0**

### **2.2.1 O surgimento da Quarta Revolução Industrial**

Atualmente vivenciamos a Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0, possibilitada pela íntima conexão entre a tecnologia e as pessoas. Sendo originado na Alemanha, o conceito de Indústria 4.0 foi apresentado ao público pela primeira vez na Feira de Hannover, em 2011, como parte da estratégia nacional alemã de implementar os mais recentes avanços tecnológicos no setor manufatureiro e suscitar a troca de informações entre as suas indústrias. Entretanto, a popularização somente ocorreu após o anúncio em março de 2012 que os conceitos da Indústria 4.0 seriam incorporados ao plano de ação “*High Tech Strategy 2020 – Action Plan*” como um dos seus 10 projetos oficiais (ALALOUL et al., 2020; NEWMANN et al, 2020). O plano de ação começou a ser idealizado em 2006 com a criação de um grupo de trabalho representado pelos principais atores da tecnologia e inovação da Alemanha. O grupo elaborou um plano estratégico objetivando aumentar a produtividade da indústria alemã e elevar a sua competitividade a nível global nos anos seguintes, resultando, posteriormente, na sua adoção pelo governo (ALALOUL et al., 2020; FIRJAN, 2016).

A idealização do plano ocorreu devido ao processo de desindustrialização e perda de competitividade dos países desenvolvidos frente as economias emergentes. Entre as décadas de 1960 e 1990, diversos países e territórios do sudeste asiático – designados como Tigres Asiáticos – passaram a apresentar altos índices de desenvolvimento industrial e crescimento econômico após a adoção de políticas e incentivos para atração de indústrias transnacionais. O modelo industrial caracterizado como Industrialização Orientada para Exportação (IOE) ocasionou a migração massiva da indústria de manufatura para os países asiáticos, sobretudo para a China. A alta produtividade, os baixos custos de produção e a mão de obra barata são os principais fatores que motivaram a migração. Como resultado, no período de

40 anos a Europa perdeu 33% da sua base industrial e observou a participação das economias emergentes na indústria global, liderada pelos países asiáticos, saltar de 21% para 40% em apenas duas décadas (FIRJAN, 2016).

Acompanhando a iniciativa do governo alemão, diversos países do mundo passaram a financiar pesquisas e implementar projetos que fomentassem o ganho de competitividade das suas indústrias. Assim, os conceitos da Indústria 4.0 se estabeleceram como a tendência tecnológica para o setor manufatureiro a nível global (FIRJAN, 2016; OESTERREICH, TEUTEBERG, 2016).

### **2.2.2 Os conceitos**

A Quarta Revolução Industrial é amplamente conhecida pelo termo Indústria 4.0, contudo outros sinônimos são encontrados na literatura, como Manufatura Avançada, Manufatura Inteligente, Produção Inteligente (OESTERREICH, TEUTEBERG, 2016) e Fábrica Inteligente (ALALOUL et al., 2020).

De acordo com Alaloul et al. (2020), Oesterreich e Teuteberg (2016) a Indústria 4.0 é caracterizada pela implementação de uma extensa e adaptável rede de produção e serviços mediante a digitalização e automação dos processos. Assim sendo, todos os elementos constituintes de uma cadeia de valor são conectados digitalmente, aprofundando a articulação entre os processos. Complementando este conceito, Newman et al. (2020) define a Quarta Revolução Industrial como o esforço em desenvolver máquinas totalmente automatizadas, conectadas através de redes sem fio, em conjunto com a utilização de diversas ferramentas, tecnologias e linguagens de programação que atuam de forma coesa dentro dessa esfera.

Desde a concepção do termo Indústria 4.0, foram desenvolvidos uma miríade de aplicações dos seus conceitos, culminando no estado de permear atualmente todos os processos de fabricação dentro das indústrias. A implementação de novas tecnologias digitais, advindas da Quarta Revolução Industrial, possibilita a interação e comunicação das máquinas entre si sem a intervenção humana – conhecido como “machine to machine” (M2M) – de forma extremamente eficiente e tornando possível extrair e analisar informações e dados em tempo real ao longo de toda a linha de produção. Como resultado, toda a logística relacionada às decisões de produção são otimizadas autonomamente por sistemas digitais (NEWMAN et al., 2020).

Os avanços tecnológicos possibilitam que todas as etapas da cadeia de valor sejam integradas, sendo elas: o desenvolvimento do produto, insumos, produção, marketing, venda, distribuição e pós-venda (manutenção do produto, reparos etc.). À vista disto, os custos dos produtos manufaturados se tornarão paulatinamente mais competitivos, as jornadas de trabalho mais flexíveis e a produção será direcionada para algo mais eficiente, rápido e otimizado. O progresso destas tecnologias já preconiza a disseminação de “fábricas negras” (dark factories), que são ambientes onde toda a força de trabalho é automatizada, sendo composta por máquinas e robôs conectados através de diversos dispositivos (NEWMAN et al., 2020; SILVA, 2018). Em meio a este ecossistema intensamente inovativo, novas técnicas, produtos, serviços e modelos de negócios têm surgido.

As inovações tecnológicas provenientes da Quarta Revolução Industrial não beneficiam somente a indústria, mas também a sustentabilidade. O consumo energético é diretamente influenciado pelas tecnologias empregadas na indústria, desse modo o emprego de energia renovável e a busca pela eficiência energética são dois componentes de extrema importância por uma manufatura viável e sustentável. As três dimensões da sustentabilidade: o social, o econômico e o ambiental, são valores fomentados pelos conceitos da indústria 4.0 e adotados, atualmente, como estratégia pelas companhias para o ganho de competitividade a longo prazo (ALALOUL et al., 2020).

### **2.2.3 As tecnologias e inovações advindas**

De acordo com Hermann et al. (2015) a Indústria 4.0 é composta pela utilização e/ ou associação de tecnologias avançadas, são elas: a Internet das Coisas (Internet of Things – IoT), a Internet dos Serviços (Internet of Services – IoS), os Sistemas Cyber-físicos (Cyber Physical Systems – CPS) e as Fábricas Inteligentes (Smart Factories). Além destes componentes, outros contribuem na composição da Indústria 4.0, tornando as etapas de produção mais eficientes e autônomas, como: Inteligência Artificial, Aprendizagem de Máquina (Machine learning), Big Data, Tecnologias baseadas em sensores, Manufatura Aditiva, Computação em Nuvem (Cloud computing) e a Segurança Cibernética (NEWMAN et al., 2020; SILVA, 2018).

A Internet das Coisas (Internet of Things – IoT) deu início ao processo da Quarta Revolução Industrial e tem a proveniência da Tecnologia da Informação e

Comunicação (TIC). Este componente consiste em uma complexa rede de integração e colaboração de dispositivos computacionais, mecânicos e digitais, que possibilitam a coleta e compartilhamento de um grande volume de dados através da conexão entre seus componentes sem a necessidade de intervenção humana (NEWMAN et al., 2020; HERMANN et al., 2015; SILVA, 2018). Esta extensa rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e aplicativos é capaz de reconhecer, analisar e interagir com os ambientes físicos e virtuais, possibilitando que os dispositivos conduzam as tomadas de decisão ao longo dos processos (FIRJAN, 2016).

A Internet dos Serviços (Internet of Services – IoS) são serviços, processos e modelos de negócios derivados das tecnologias presentes na Internet das Coisas. A partir do processamento e análise de dados é possível atingir patamares mais avançados de agregação de valor. A oferta por diferentes fornecedores e canais resulta em dinâmicas de distribuição e valor superiores àquelas observadas em períodos anteriores. O progresso da Indústria 4.0 possibilita que o conceito da Internet dos Serviços extrapole os limites das fábricas e englobe toda a rede de produção e consumo (RIBEIRO, 2019; FIRJAN, 2016).

Os Sistemas Cyber-físicos (Cyber Physical Systems – CPS) são caracterizados pela integração entre os ambientes virtuais e físicos por meio da conexão de operações reais com infraestruturas de computação e comunicação automatizadas. Desse modo, esses sistemas permitem a obtenção de informações e o controle da operação de forma instantânea independentemente da localização geográfica. A progressiva expansão da rede de internet favorece a difusão e viabilidade dos Sistemas Cyber-físicos nas indústrias. Os CPS são integrados a outros conceitos e princípios da manufatura avançada, como a Internet das Coisas, Big Data, Computação em Nuvem e Aprendizagem de Máquina. De modo a possibilitar o seu funcionamento e interação com o mundo físico são necessários alguns elementos como: conjunto de sensores e atuadores, unidades de controle, tecnologias de identificação, mecanismos de armazenamento e análise de dados. (SILVA, 2018; FIRJAN, 2016; HERMANN et al., 2015).

As Fábricas Inteligentes (Smart Factories) são definidas como instalações fabris que a consciência computacional, ou consciência de contexto – caracterizado pela capacidade dos computadores de operarem a partir de regras preestabelecidas a um estímulo físico ou virtual e reagirem de acordo – auxiliam as pessoas e as máquinas na execução das suas tarefas. As Fábricas Inteligentes são locais onde os

Sistemas Cyber-físicos são empregados nos sistemas produtivos e comunicam-se através da Internet das Coisas, gerando expressivos ganhos de eficiência, tempo, recursos e custos, quando comparados às instalações fabris convencionais (FIRJAN, 2016; HERMANN et al., 2015).

O conceito de Inteligência Artificial envolve a capacidade de simulação do intelecto humano por sistemas computadorizados, como a capacidade de analisar o ambiente circundante, aprender, solucionar problemas complexos e tomar decisões. Algumas técnicas como as redes neurais, lógica difusa, algoritmos genéticos e a aprendizagem de máquina possibilita que a Inteligência Artificial replique a característica multifacetada da inteligência humana, possibilitando raciocinar a velocidades exponencialmente superiores (NEWMAN et al., 2020).

O Big Data consiste em softwares e práticas de coleta, análise e interpretação de um grande volume de dados procedentes de diversas fontes. Sua concepção provém da necessidade de gerenciar a grande quantidade de dados oriundos da Internet das Coisas e que, devido ao seu tamanho, o uso de métodos de análise e interpretação tradicionais são ineficazes. O Big Data pode ser definido pela incorporação dos “Cinco V’s”, que identificam suas principais características, são eles: Volume – o tamanho dos dados; Velocidade – a quantidade de dados gerados durante um prazo específico e traduzido em tempo real para análise; Variedade – dados de diferentes formatos; Valor – dados requisitados para extração; e Veracidade – confiabilidade dos dados (RIBEIRO, 2019; SILVA, 2018).

As tecnologias baseadas em sensores foram desenvolvidas para aumentar a eficiência, a qualidade e a segurança dos processos de produção automatizados, viabilizando a identificação das condições físicas do ambiente circundante pelas máquinas. Apesar de serem espacialmente distribuídos, os sensores são conectados através de redes sem fio, o RSSF (rede de sensores sem fio), realizando a coleta de dados e monitorando cooperativamente a linha de produção. Os dados podem ser processados em uma central, muitas vezes baseadas em plataformas na nuvem, ou diretamente no local de operação, através de microprocessadores integrados, que elimina possíveis erros de transmissão de informações e aumenta a consistência e precisão das medições. Os sensores são categorizados em duas áreas: os sensores analógicos, como acelerômetros, sensores de luminosidade, sensores acústicos, sensores de pressão e de temperatura; e sensores digitais, como os interruptores e

detectores de infravermelho (NEWMAN et al., 2020; OESTERREICH, TEUTEBERG, 2016).

A Manufatura Aditiva ou Impressão 3D, como é conhecida popularmente, permite que estruturas ou objetos tridimensionais sejam criados a partir de modelos elaborados em softwares CAD (Computer Aided Design). Os benefícios desta técnica são diversos, como: maior controle sobre a qualidade do produto; ilimitadas possibilidades de arranjo no formato e geometria da peça manufaturada, oportunizando a fabricação de componentes complexos para a indústria aeroespacial e automobilística; relação de custo-benefício vantajosa, pois as peças podem ser fabricadas a custos muito inferiores quando comparado aos meios de produção convencionais, tais como o forjamento, moldagem e estampagem (NEWMAN et al., 2020).

A Computação em Nuvem é baseada no fornecimento de serviços de computação sob demanda através da internet, como servidores, redes, softwares e armazenamento e processamento de dados. Os recursos podem ser acessados remotamente pelos seus usuários por meio de qualquer dispositivo móvel, desde que conectados à rede de internet, de forma ágil e sem a necessidade de intervenção humana. A Computação em nuvem possibilita o controle e otimização de forma autônoma dos recursos fornecidos e desse modo, dependendo da demanda, os recursos em nuvem podem ser expandidos ou reduzidos rapidamente para se adaptar as circunstâncias (NEWMAN et al., 2020; RIBEIRO, 2019).

A Segurança Cibernética tem como objetivo a proteção do hardware, software e dos dados sigilosos da organização contra ameaças maliciosas, como: hackers, terroristas cibernéticos e espionagem industrial. Diversos padrões rigorosos de segurança têm sido implementados para proteger os dados das organizações de comportamentos maliciosos. Desse modo, a partir das estratégias e ações adotadas pela Segurança Cibernética, as trocas e armazenamento das informações têm se tornado cada vez mais confiáveis e sofisticadas (NEWMAN et al., 2020).

#### **2.2.4 Os princípios fundamentais**

Os princípios para a implementação da Indústria 4.0 são provenientes da interrelação das suas tecnologias. Segundo Hermann et al. (2015), são identificados

seis princípios, são eles: interoperabilidade, virtualização, descentralização, adaptação em tempo real, orientação a serviços e modularidade.

A interoperabilidade é caracterizada pela capacidade de dois ou mais sistemas de computadores, redes, softwares, dispositivos ou outros componentes de tecnologia de informação de interagirem e de intercambiarem entre si dados de forma coerente e por meio de métodos preestabelecidos. À vista disto, a interoperabilidade possibilita que os sistemas cyber-físicos de uma instalação fabril possam interagir entre si através das redes, ainda que sejam oriundos de fornecedores distintos (PEREIRA et al., 2017; HERMANN et al., 2015).

A virtualização é expressa pela simulação de diversos comportamentos reais no ambiente virtual através da criação de modelos digitais correspondentes ao mundo físico. Os modelos são desenvolvidos e incrementados mediante a coleta de dados obtidos na cadeia produtiva. A virtualização oportuniza o monitoramento remoto dos processos físicos através dos sistemas cyber-físicos e, dependendo no nível de complexidade do sistema, a ocorrência de erros ou acidentes na linha de produção são denunciados, assegurando que ações sejam tomadas com antecedência para contornar tais situações (FIRJAN, 2016; HERMANN et al., 2015).

A descentralização determina que o controle dos processos produtivos e as tomadas de decisão sejam realizadas instantaneamente e remotamente por computadores através dos sistemas cyber-físicos. A crescente demanda por produtos personalizados torna extremamente complexo o controle da produção de forma centralizada. À vista disso, a descentralização do controle dos processos produtivos possibilita que a qualidade e a rastreabilidade dos produtos sejam assegurados sob qualquer circunstância (CAVALCANTI et al., 2018; HERMANN et al., 2015).

A adaptação em tempo real é caracterizada pela coleta de informação, análise de dados e controle da operação de maneira autônoma e imediata pelos computadores, sem a necessidade de interferência humana. No caso da ocorrência de qualquer adversidade, os sistemas controladores da linha de produção reagem imediatamente, paralisando a operação ou transferindo os produtos para outras máquinas. Os gestores podem usufruir dos dados coletados pelo sistema para analisar posteriormente o desempenho e a produtividade da sua equipe e dos indivíduos, possibilitando a identificação de falhas e a sua correção meticulosa (CAVALCANTI et al., 2018; HERMANN et al., 2015).

A orientação a serviços é expressa pela disponibilização de dados, serviços, sistemas cyber-físicos e pessoas para todos os participantes de uma rede, sejam eles internos ou externos a organização, tornando a Internet dos Serviços mais robusta. Assim, a integração de todos os departamentos de uma organização é intensificada através do alinhamento dos seus sistemas aos objetivos estratégicos do negócio. A customização dos processos de produção é mais uma vantagem oriunda deste princípio, pois a operação pode ser adaptada a partir das especificações de cada cliente de forma flexível e ágil (CAVALCANTI et al., 2018; FIRJAN, 2016; HERMANN et al., 2015).

O sexto e último princípio é a modularidade. Os sistemas concebidos de forma modular proporcionam praticidade na adaptação dos seus componentes através da sua expansão ou substituição, conforme às condições exigidas. A implementação deste conceito possibilita ganhos de flexibilidade e adaptabilidade, seja por flutuações sazonais na demanda, alterações nas características do produto ou mudanças na configuração da linha de produção (RIBEIRO, 2019; HERMANN et al., 2015).

### **2.2.5 O panorama brasileiro**

O cenário global da Indústria 4.0 e as transformações esperadas nos setores industriais emerge preocupações sobre o panorama brasileiro. De acordo com a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro – FIRJAN (2016) a indústria nacional se encontra, em sua maior parcela, em um estado intermediário entre a Segunda Revolução Industrial (definida pelo emprego de linhas de montagem e energia elétrica) e a Terceira Revolução (expressa pela adoção da eletrônica, robótica e programação nas linhas de produção).

As tecnologias da Indústria 4.0 começaram a ser implementadas no Brasil através das matrizes das fábricas da indústria automobilística. As inovações empregadas, como a realidade virtual, robôs colaborativos e aprendizagem de máquina, oportunizaram o aumento da eficiência de produção em 15%, ganho de eficiência logística de 20% e redução de armazenamento de componentes de 10 dias para somente 3 dias, em média, nas organizações analisadas. Devido ao seu perfil inovador, a indústria automobilística é atualmente a única que possui as aptidões necessárias para utilizar as inovações da Quarta Revolução Industrial em sua integridade no Brasil. Isso se deve, em grande parte, às qualificações demandadas

pelo mercado para os profissionais deste setor, exigindo o seu constante aperfeiçoamento. Devido a grande quantidade de profissionais atuantes do setor automobilístico, existe a possibilidade dessa mão de obra qualificada ser remanejada e aproveitada em outros setores, de modo a favorecer o desenvolvimento da Indústria 4.0 em outros locais (FIRJAN, 2019; FIRJAN, 2016).

Apesar das tecnologias advindas da Quarta Revolução Industrial estarem presentes nos mais diversos setores industriais do Brasil, apenas 48% da indústria nacional utiliza tecnologias digitais, segundo a pesquisa da Confederação Nacional da Indústria (CNI) de 2016 (FIRJAN, 2019). A capacidade inovativa da indústria nacional é expressa no relatório de Competividade Global do Fórum Econômico Mundial, que mensura a capacidade de uma nação de absorver novas tecnologias, o Brasil ocupa apenas a 58ª posição em meio a lista dos 144 países mais inovativos (SCHWAB, 2018). Complementando esta informação, de acordo com o Índice Global de Inovação de 2018, o Brasil se situa na posição de número 64 no ranking das economias com maiores capacidades e sucesso de inovação.

Dados do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) de 2018 demonstram que os gastos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no Brasil foram de US\$ 43 bilhões de dólares, ou 1,26% do PIB. Esse percentual é superior ao de outros países da América Latina, mas inferior quando comparado com a média de outras nações da OCDE, como a China e EUA no mesmo período, US\$ 407 bilhões e US\$ 496 bilhões respectivamente (IEDI, 2021; FIRJAN, 2019). A partir dos números apresentados, fica nítido a insuficiência dos investimentos em P&D no Brasil em relação as principais economias globais.

De acordo com a Pesquisa de Digitalização: Tendências e Soluções para um Brasil mais competitivo (SIEMENS, 2015), realizada por meio de entrevista com um grupo de 250 profissionais, formado por CEOs, CIOs, engenheiros e especialistas das maiores empresas do país, 85% dos indivíduos entrevistados concordam com o potencial da digitalização aumentar a competitividade das empresas, entretanto 52% afirmam que, no presente, as condições para investimento são insuficientes e configuram-se como um impedimento para implementação das tecnologias da Indústria 4.0 nas organizações. Complementando esta pesquisa, a Confederação Nacional da Indústria buscou avaliar o nível de conhecimento da indústria nacional sobre as tecnologias digitais e a sua incorporação à produção. A partir de um levantamento de 2.225 organizações de 29 setores industriais, constituída por

empresas dos mais diversos portes, foi demonstrado que as tecnologias advindas da Quarta Revolução Industrial ainda são pouco conhecidas e, conseqüentemente, difundidas no meio. Aproximadamente 42% das organizações não têm conhecimento sobre a importância destas inovações e 52% ainda não empregam as principais tecnologias da Indústria 4.0 (RIBEIRO, 2019).

A indústria de transformação brasileira vem perdendo participação no Produto Interno Bruto no decorrer dos últimos anos, reduzindo a sua parcela de 12,7% para 10,8%, como é evidenciado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO – United Nations Industrial Development Organization) no seu ranking de Desempenho Industrial Competitivo. De acordo com a pesquisa, o Brasil caiu da 26ª para a 35ª colocação no índice que mensura a capacidade dos países produzirem e exportarem produtos manufaturados, a dimensão de intensificação e atualizações tecnológicas e seu impacto nos mercados mundiais (IEDI, 2021).

As empresas manufatureiras brasileiras que empregam robôs industriais correspondem a apenas 4,5% do setor, segundo dados do ano de 2019. Esta porcentagem é inferior a qualquer outra nação europeia. Ademais, o número absoluto de robôs industriais em uso no Brasil em 2014 foi de 6.114 unidades, enquanto as principais economias mundiais, como Alemanha, Coréia, Japão e Estados Unidos, no período contabilizavam mais de 100.000 unidades operacionais (IEDI, 2021). A maior parte dos robôs industriais em operação está situada nas economias desenvolvidas, respondendo por 60% do estoque global no período de 2015. Entre os anos de 2010 e 2015, houve um acelerado crescimento no emprego de robôs industriais em economias em desenvolvimento, lideradas pela China. Ao longo de 5 anos, o país asiático quadruplicou os seus estoques, ampliando a sua participação no estoque global (15,7%) e ultrapassando outras economias, como a Alemanha (11,2%) e Estados Unidos (14,4%). Em comparação, a América Latina totalizava apenas 2% de participação global no mesmo período (IEDI, 2019).

De acordo com a pesquisa da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a indústria brasileira registra baixo valor agregado das tecnologias de informação e comunicação (TIC) incorporado as exportações de produtos manufaturados. As tecnologias de informação e comunicação são acrescidas na produção industrial por meio de computadores e softwares instalados ou como serviços de tecnologia de informação. A participação de

TIC nas exportações em 2015 correspondeu a 2,2%, ficando abaixo das porcentagens observadas neste ano nas maiores economias industrializadas, como a Alemanha (5,3%) e EUA (9,4%), mas também quando comparado com economias emergentes como o México (12,2%) e a China (12,7%) (IEDI, 2021).

A baixa qualificação do capital humano é outro gargalo no Brasil, apesar do crescimento acelerado do número de alunos matriculados no ensino superior ao longo da última década. A proporção de graduados entre a população adulta é de somente 18%, enquanto a média nos países da OCDE é de 39%. Uma pequena parcela da população brasileira é graduada nos setores diretamente relacionados ao desenvolvimento e emprego das tecnologias da Indústria 4.0, como as ciências exatas, engenharias e em áreas da tecnologia de informação e comunicação (IEDI, 2021).

Considerando as vulnerabilidades da indústria nacional, ao longo dos últimos anos foram adotadas diversas iniciativas abrangentes objetivando a promoção da transformação digital no Brasil, com enfoque em novos modelos de negócios orientados a dados, sendo os principais: o Plano ProFuturo, lançado em 2017; a Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (E-Digital), lançado em março de 2018; e o Plano Nacional de Internet das Coisas, formalizado em junho de 2019, no qual fazem parte a criação da Câmara do Agro 4.0, a Câmara da Indústria 4.0 e a Câmara da Saúde 4.0. Estas iniciativas destinam-se a transformar o cenário industrial brasileiro e explorar o potencial das tecnologias digitais, abrindo caminho para ganhos de eficiência, redução de custo e maior sustentabilidade ambiental (IEDI, 2021).

### **2.2.6 As implicações no cenário nacional**

A utilização das tecnologias provenientes da Quarta Revolução Industrial poderá gerar acréscimos estimados em US\$ 39 bilhões até a década de 2030, segundo um estudo elaborado pela companhia Accenture. Contudo, os ganhos podem ser maximizados e alcançarem US\$ 210 bilhões no caso do desenvolvimento da infraestrutura necessária para o aprimoramento tecnológico, da viabilização de programas de difusão tecnológica e aperfeiçoamento regulatório (CNI, 2016).

A implantação da Indústria 4.0 possibilitará a dedução de 10 a 40% dos custos de manutenção de equipamentos e redução entre 10 e 25% do consumo de energia, de acordo com a empresa de consultoria estratégica McKinsey. Toda a cadeia

produtiva será impactada pelas mudanças causadas por esta revolução e estima-se que 40 a 50% dos equipamentos deverão ser substituídos ou aprimorados nos próximos anos. Esta porcentagem somente é menor que a substituição resultante da chegada da energia a vapor, na Primeira Revolução Industrial, e emprego da robótica, na Terceira Revolução, que resultaram em mudanças de 80 a 90% do equipamento industrial, respectivamente (RIBEIRO, 2019).

As transformações tecnológicas da Indústria 4.0 apontam para a reestruturação das cadeias globais de valor (CGV) nos próximos 10 a 15 anos, impactando significativamente as relações do comércio internacional, crescimento da produtividade, geração de empregos e crescimento do PIB. De acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), é previsto que as inovações otimizem a capacidade de gestão de diversas etapas das cadeias complexas, como a produção, gestão de estoque, logística e vendas, ainda que distantes geograficamente (IEDI, 2019).

A Quarta Revolução Industrial provocará alterações profundas nos empregos dos setores industriais, tais como: a redução dos trabalhos repetitivos, que exigem baixo nível de capacitação; diminuição do ritmo e volume das tarefas; e aumento dos trabalhos especializados. É estimado que aproximadamente 15,7 milhões de postos de trabalho sejam impactados até o ano de 2030, pela escassez de mão de obra especializada em contraste com a alta demanda de trabalhadores qualificados (IEDI, 2019; RIBEIRO, 2019).

A implementação de tecnologias disruptivas através das revoluções industriais anteriores sempre ocasionaram a perda de empregos e redução da renda para alguns segmentos da sociedade e setores. Apesar do impacto controverso no curto e médio prazo, os desdobramentos das inovações e novas tecnologias se mostraram indispensáveis e benéficas no longo prazo. Existem atualmente opiniões distintas acerca das possíveis consequências associadas a robotização. No que se refere a visão otimista, os especialistas consentem que os ganhos de produtividade associados a robotização serão difundidos de maneira célere. Porém, em relação a perspectiva pessimista, é argumentado que os avanços em inteligência artificial e robótica implicarão ao longo do tempo em perdas de empregos superiores a geração de novos empregos. Desse modo, o crescimento da produtividade somente beneficiaria os proprietários dos robôs e da propriedade intelectual envolvida e os

funcionários altamente especializados para as novas funções. Restaria aos demais trabalhadores as funções mais precárias e de menor qualificação (IEDI, 2019).

### **2.2.7 Os desafios da implementação**

A Quarta Revolução Industrial constitui uma enorme oportunidade para a indústria brasileira alcançar os níveis de produtividade dos seus competidores internacionais e o ato de ignorá-la apresenta considerável risco para o futuro dos setores industriais nacionais. Considerando que as economias mais industrializadas possuem estratégias e políticas sólidas para o desenvolvimento da Indústria 4.0, a diferença nos níveis de produtividade entre o Brasil só tendem a aumentar, no caso da inação dos representantes dos setores públicos e privados. A difusão e adoção das suas tecnologias pela indústria manufatureira no Brasil ainda enfrenta diversos obstáculos, como: o sistema tributário complexo e controverso; o protecionismo; e a limitação do acesso ao crédito por empresas de pequeno porte, mas com alto potencial de inovação. A tributação é identificada como principal causadora do alto custo de desenvolvimento das tecnologias da Indústria 4.0 no país. Os produtos estrangeiros de tecnologia de informação e comunicação (TIC), por exemplo, são afetados pelas elevadas tarifas de importação, pelo regime fiscal do Fundo de Fiscalização das Telecomunicações (FISTEL) e outras duas taxas diferentes que são aplicadas à instalação (TFI) e ao funcionamento dos equipamentos (TFF) (FIRJAN, 2019; IEDI, 2019).

De acordo com estudos da FIRJAN (2019) os principais entraves expostos por órgãos governamentais podem ser divididos em 3 esferas: a industrial, de infraestrutura e de políticas governamentais. Para a indústria nacional ter êxito na implementação das inovações da Indústria 4.0, as seguintes medidas deverão ser tomadas:

#### **1) Implementação de processos produtivos enxutos**

As indústrias devem implementar métodos de racionalização dos seus processos produtivos, em conjunto com melhorias de eficiência energética e redução da geração de resíduos. A adoção de processos produtivos enxutos oportuniza a compreensão sobre as deficiências e oportunidades de melhora pelas empresas, de modo a remover os processos desnecessários, racionalizar a utilização dos materiais

e alocar apropriadamente a mão de obra. As novas tecnologias possibilitam antecipar as falhas produtivas e potencializar os ganhos de produtividade (FIRJAN, 2019; RIBEIRO, 2019).

## **2) Qualificação dos trabalhadores e gestores**

A implementação da Indústria 4.0 e a utilização das suas novas tecnologias exigirá a (re)qualificação dos profissionais brasileiros do setor industrial. Sendo eles os responsáveis pela atualização tecnológica, é imprescindível que a mão de obra esteja preparada para lidar com os métodos ágeis e introduzir e operar as inovações tecnológicas. Considerando a divergência do conhecimento teórico ensinado nas instituições de ensino e o conhecimento prático do ambiente profissional ao longo dos últimos anos, se torna fundamental a formação de parcerias entre os dois ambientes de modo a compatibilizar o ensino acadêmico com as atividades laborais. Dentre os conhecimentos necessários, cabe destacar: as técnicas de programação, análise de dados e a capacidade de resolver problemas complexos através das competências socioemocionais (*softskills*), pois o mercado de trabalho exigirá dos profissionais uma mentalidade criativa e empreendedora, capaz de liderar e se comunicar com facilidade (FIRJAN, 2019; RIBEIRO, 2019).

## **3) Utilização de tecnologias disponíveis de baixo custo**

Determinadas tecnologias da Indústria 4.0 estão disponíveis no mercado brasileiro a preços acessíveis, oportunizando a familiarização destes elementos pelas empresas sem a necessidade de efetuar grandes investimentos na área. Algumas tecnologias como os sensores, a Internet das Coisas, computação em nuvem, inteligência artificial e Big Data podem ser adquiridos e implementados a baixo custo nas indústrias. A adoção desse conjunto de inovações e a visualização dos seus benefícios oportunizam a alocação de mais recursos para a implementação de novas ferramentas pelas organizações (FIRJAN, 2019).

## **4) Ampliação dos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação**

Os investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação são imprescindíveis para as empresas ganharem competitividade. As companhias que observarem esta tendência e reagirem de acordo obterão vantagens significativas no

mercado nacional e estrangeiro. O setor industrial deve atuar de forma arrojada nos próximos anos, comprometendo-se no desenvolvimento e utilização de tecnologias disruptivas e visando a implantação de fabricas inteligentes, flexíveis, ágeis e conectadas as suas cadeias de fornecimento. Para alcançar níveis de produtividade e inovação superiores, as grandes indústrias brasileiras devem buscar a colaboração de *startups* proeminentes do setor tecnológico, com a finalidade de impulsionar o desenvolvimento mútuo. A indústria brasileira precisa estar ciente que neste momento a Indústria 4.0 não deve ser vista como uma ameaça, mas como uma oportunidade para tornar o setor mais produtivo, inovador e competitivo (FIRJAN, 2019).

#### **5) Associação de empresários e gestores da indústria em torno do progresso da manufatura avançada**

Neste momento de profundas e céleres mudanças do setor industrial, é essencial que haja um esforço em conjunto de empresários e gestores na implementação da Indústria 4.0 nacionalmente. A formação de parcerias é mais eficiente e eficaz do que iniciativas isoladas, desse modo é exigido que os líderes se comportem de forma proativa, dinâmica, arrojada e com visão de longo prazo (RIBEIRO, 2019).

Concomitantemente as iniciativas privadas, ações voltadas para a implementação e desenvolvimento da manufatura avançada devem ser aprofundadas pelas instituições governamentais, cabendo aos gestores públicos a criação de políticas estratégicas, incentivos e fomentos mais abrangentes. As políticas governamentais para a implementação da Indústria 4.0 devem priorizar:

#### **1) Aprimoramento dos programas brasileiros de desenvolvimento da manufatura avançada**

Apesar dos progressos recentes na modernização das políticas públicas brasileiras, o setor industrial ainda registra baixo desempenho em inovação e pouca repercussão nos ganhos de produtividade, no aprimoramento da competitividade ou reforço da presença das organizações brasileiras nas cadeias globais de valor. Os principais instrumentos de incentivo fiscal a inovação das empresas no Brasil são: a Lei de Informática (Lei 13.969/19) e a Lei do Bem (Lei 11.196/05), entretanto elas possuem lacunas em suas normas e não são acessíveis a maioria das empresas

nacionais de tecnologia digital, que são caracterizadas pelo pequeno porte e pouco tempo de existência (IEDI, 2021).

Algumas iniciativas foram lançadas nos últimos anos objetivando alavancar a inovação e promover o desenvolvimento de tecnologias digitais, como: a Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (E-Digital) pelo governo federal; os bônus tecnológicos do CNPq para a implementação da manufatura avançada por pequenas e médias empresas; o projeto BNDES Pilotos IoT, que financia soluções tecnológicas de Internet das Coisas no ambiente rural, urbano e da saúde pública; as iniciativas da Finep para o desenvolvimento e adoção de soluções de IoT e Indústria 4.0; e da Emprapii no suporte às pesquisas colaborativas sobre a manufatura avançada. Contudo, estas iniciativas não possuem articulação entre si e não há garantias da disponibilidade de recursos que assegurem a sua difusão e impacto no setor industrial (IEDI, 2021; IEDI, 2017).

Dessa forma, visando o aprimoramento dos programas brasileiros de desenvolvimento da Indústria 4.0, é necessário: coordenar os instrumentos e as instituições, de modo a fortalecer os vínculos entre as equipes e os projetos; reforçar o papel da inovação da agenda econômica e social do país; direcionar a base de recursos humanos para a inovação digital; revisar os instrumentos para a difusão da inovação digital, procurando dar-lhe mais robustez; aumentar a participação de startups no setor industrial através da adequação de instrumentos e medidas legais; e reformular a Lei da Informática, visando preencher as lacunas existentes (IEDI, 2021).

## **2) Acordos bilaterais entre os programas de desenvolvimento da manufatura avançada do Brasil e de outros países.**

O estabelecimento de acordos bilaterais com países industrialmente avançados é uma importante forma de promover a implementação da Indústria 4.0 no Brasil. O aproveitamento da experiência de outros países otimizaria os avanços da manufatura avançada nacionalmente, diminuindo o tempo e reduzindo os erros de implementação. O êxito deste processo dependeria do engajamento das empresas brasileiras e dos órgãos governamentais de ambos os países. As negociações poderiam ser conduzidas por multinacionais que possuem unidades nos dois países, pois facilitaria a transferência de conhecimento e tecnologias e o intercâmbio de profissionais qualificados (RIBEIRO, 2019; ABDI, 2017).

### **3) Planejamento e alocação dos recursos**

Através da reformulação e alinhamento dos programas existentes, o governo deve maximizar a concessão de crédito e viabilizar recursos para os projetos de desenvolvimento da manufatura avançada no território brasileiro. Muitas iniciativas esbarram na falta de investimentos e carência de financiamentos adequados (RIBEIRO, 2019; FIRJAN, 2016).

### **4) Engajamento de empresas de pequeno e médio porte**

Apesar das empresas de pequeno e médio porte comporem uma considerável parcela da produção nacional, elas enfrentam mais obstáculos para se desenvolverem tecnologicamente quando comparadas as empresas de grande porte. Desse modo, é imperativo reestruturar os incentivos governamentais e das organizações das entidades corporativas, assegurando a adoção e disseminação das tecnologias advindas da Quarta Revolução Industrial (IEDI, 2021).

De forma a garantir a eficácia, prevenir falhas e controlar as despesas na implementação de determinadas tecnologias da manufatura, é viável a adesão as *Testbeds* pelas empresas de pequeno e médio porte. As plataformas de teste - ou *Testbeds*, como é conhecida popularmente – são instrumentos que possibilitam a condução de experimentos rigorosos, transparentes e replicáveis de novas tecnologias, ferramentas computacionais ou teorias científicas de forma controlada. As *Testbeds* permitem coletar e analisar dados através de simulações da realidade do ambiente de produção. Logo, é possível identificar e corrigir falhas e avaliar as condições gerais de uso de um produto antes e durante a sua implementação (RIBEIRO, 2019; ABDI 2017).

## **2.3 A INDÚSTRIA 4.0 APLICADA AO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

A indústria da construção civil é um dos mais importantes setores da economia brasileira e o seu desempenho está profundamente atrelado ao crescimento ou declínio do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. As atividades desempenhadas pelo setor contribuem de forma substancial para o desenvolvimento econômico e social do Brasil. Sob a perspectiva econômica, a construção civil impacta diretamente no desenvolvimento de outros setores, pois promove o consumo de bens e serviços. Sob

a perspectiva social, o setor demonstra alta capacidade de absorção de mão de obra, visto que gera empregos, renda e tributos (SILVA, 2018).

Segundo estudos da Fundação Getúlio Vargas, o setor da construção civil emprega diretamente 7,58% do total da população assalariada brasileira, ou cerca de 7,5 milhões de indivíduos. Aproximadamente 1,2 milhão de trabalhadores são impactados indiretamente e 2,5 milhões de pessoas são empregados de forma induzida. Isso significa que, proporcionalmente, a criação de 100 empregos diretos resulta no surgimento de 21 empregos indiretos e 47 induzidos (SILVA, 2018). No cenário global, a indústria da construção civil emprega cerca de 7% do total da população economicamente ativa. Apesar de movimentar aproximadamente US\$ 10 trilhões em bens e serviços na economia global, o setor apresenta diversos problemas de produtividade. Ao longo das últimas duas décadas a construção civil cresceu apenas 1% ao ano, concomitantemente a produtividade global e dos demais setores manufatureiros cresceram 2,8% e 3,6%, respectivamente (TEIXEIRA et al., 2020; RIBEIRO, 2019).

Assim como ocorre na indústria manufatureira, as novas tecnologias digitais possibilitam ao setor da construção civil consideráveis ganhos ao longo de toda a cadeia de valor e ciclo de vida do empreendimento, proporcionando vantagem competitiva e aumento de produtividade. Os benefícios da utilização das técnicas e tecnologias da Indústria 4.0 são perceptíveis para a grande maioria das organizações do setor da construção. Contudo, em contraste com a adoção progressiva de novas tecnologias pelos outros setores industriais e apesar dos inúmeros benefícios observados em outras indústrias, a construção civil ainda é caracterizada por demonstrar aversão em face a inovação e morosidade em implementar esses conceitos. De acordo com estudos do Boston Consulting Group (2016), o setor da construção civil investe três vezes menos em tecnologias digitais que a média do setor industrial, o que consiste em menos de 1,2% do seu faturamento. Este caráter relutante pode ser explicado por diversos fatores, tais como: a percepção que a adoção de novas tecnologias é atrelada a gastos excessivos; a alocação de recursos para o treinamento dos indivíduos envolvidos na utilização das novas tecnologias; e a resistência em descontinuar os sistemas, processos e procedimentos tradicionais, enraizados no setor. Para encabeçar o movimento de adoção de novas tecnologias pelo setor da construção civil é necessária a atuação de empresas inovadoras, visto que a grande maioria das organizações somente fara uma transição mediante a

constatação dos resultados superiores no desempenho, produtividade, performance e segurança das empresas pioneiras (NEWMAN et al., 2020; ALALOUL et al. 2019; GOMES, 2019).

### **2.3.1 Entraves**

A indústria da construção tem dificuldades em adotar os conceitos da Indústria 4.0, apesar dos benefícios por ela oferecidos. Existem diversos entraves que podem ser identificados dentro do setor, cabendo destacar: a sua complexidade, a incerteza dos processos, a cadeia de suprimentos fragmentada, o planejamento de curto prazo, os fatores financeiros, a mão de obra desqualificada e, acima de tudo, a cultura do setor – ou ausência de uma cultura inovadora. Todas as desvantagens mencionadas são características proeminentes do setor, evidenciando que os entraves são particularmente profundos na construção civil (NEWMAN et al., 2020; SILVA, 2018).

O setor da construção civil é comumente identificado pela sua complexidade, visto que cada produto entregue – o empreendimento imobiliário - é único e envolve o interesse de diversas partes. Consequentemente, o ambiente se torna imprevisível e suscetível a complicações, gerando incertezas aos processos organizacionais. As práticas regulares necessitam ser redesenhadas para se tornarem mais resilientes às adversidades e as novas mudanças do mercado (NEWMAN et al., 2020; ALALOUL et al., 2019).

A cadeia de suprimentos fragmentada é uma característica intrínseca do setor da construção, devido à grande e variada quantidade de fornecedores e prestadores de serviço, assim como o planejamento de curto prazo. Muitas organizações visualizam a implementação de novas tecnologias como algo dispendioso, gerando incertezas sobre o retorno dos investimentos praticados no treinamento dos funcionários e na aquisição e manutenção de equipamentos. A ausência de mão de obra qualificada retarda a implementação de novas tecnologias, assim como afeta constantemente a produtividade do setor. A indústria da construção civil é reconhecida pela sua notável negligência no uso das tecnologias disponíveis, devido a sua cultura antipática em relação a inovação e hesitação em face as mudanças. O emprego das novas tecnologias deve ser adotado em todos os processos de construção e envolver todos os colaboradores, de modo a contribuir para a mudança cultural (NEWMAN et al., 2020; ALALOUL et al., 2019).

É observado que as empresas do setor ainda são fortemente dependentes de cadeias de valor que compartilham o emprego das mesmas tecnologias entre si. Conseqüentemente, a implementação das inovações da Quarta Revolução Industrial frequentemente resulta na alienação daqueles colaboradores que são relutantes na adoção ou apresentam dificuldades de aprendizado para lidar com estas tecnologias. (NEWMAN et al., 2020; ALALOUL et al. 2019).

Além disso, o Instituto de Pesquisa Global da McKinsey (2017) observou que o maior problema da transformação digital nos dias de hoje dentro das empresas decorre do seu tamanho. Enquanto pequenas empresas podem recorrer aos canais de comunicação informais e tomar decisões de forma ágil, as empresas maiores são dependentes de canais de comunicação formais, que por sua vez crescem exponencialmente em conjunto com o tamanho da empresa, dos seus projetos, escritórios, clientes e fornecedores. A maior parcela das empresas do setor é composta por empresas de pequeno e médio porte com recursos limitados ou escassos para os investimentos necessários em novas tecnologias, cujo benefício, para elas, é incerto. Neste caso, as empresas precisariam contar com o suporte dos órgãos públicos ou autoridades para fornecer suporte para a implementação por meio de programas de financiamento ou parcerias colaborativas (ALALOUL et al., 2019).

Independentemente dos desafios enfrentados, a indústria da construção civil deve se adaptar a uma economia global em constante mudança. Os avanços da Indústria 4.0 não apenas oportunizam somente ganhos de competitividade e produtividade como também tem a capacidade de reverter os impactos causados pelas Revoluções Industriais anteriores.

### **2.3.2 Oportunidades**

Os avanços tecnológicos da Quarta Revolução Industrial oportunizam o controle e tomada de decisão dos processos produtivos sem a interferência humana, dessa forma as máquinas em conjunto com os sistemas computacionais podem agir de maneira mais ágil, eficiente e racional. Como consequência, as empresas do setor da construção civil, com atuação regional, podem ampliar exponencialmente a sua competitividade, entregando produtos de melhor qualidade e escalando as suas atividades. A implementação das tecnologias e dos conceitos inovadores possibilitam a diminuição do tempo de entrega das construções e redução do custo do material,

da mão de obra e, conseqüentemente, dos seus produtos, aumentando a percepção do valor agregado aos clientes. Isto é benéfico, pois possibilita melhor qualidade, consistência, agilidade e confiabilidade na entrega dos produtos, melhorando as expectativas dos clientes em relação ao custo-benefício (NEWMAN et al., 2020; ALALOUL et al., 2019).

O emprego de inovações tecnológicas contribuiu para a melhora das condições de trabalho, em oposição aos modelos dos dias atuais. O potencial de automatizar diversos processos dentro da organização possibilita a redução das longas jornadas e da sobrecarga de trabalho imposta a diversos funcionários, melhorando o bem-estar de todos. O excesso de trabalho é identificado como uma das principais causas da diminuição das taxas de produtividade, aumento dos riscos de acidentes de trabalho e desequilíbrio entre a vida pessoal e profissional. Implementar melhorias que visam a transformação positiva desse cenário é imperativo dentro do setor da construção civil (NEWMAN et al., 2020; SILVA, 2018).

A digitalização e o armazenamento de informações em nuvem oportunizam a melhora de um dos problemas mais proeminentes da indústria da construção civil, a sua produtividade. Atualmente, o nível de digitalização e o compartilhamento de informações são dois importantes indicadores da produtividade de uma empresa, pois asseguram a transparência e integração da companhia. Como alternativa, diversas companhias têm investido e incorporado as novas tecnologias a sua rotina diária, otimizando o processo produtivo ao longo de todas as etapas da construção, desde o projeto até o pós-obra. (RIBEIRO, 2019).

Dentre as inovações tecnológicas disponíveis, pode-se citar: drones e veículos aéreos não tripulados para o acompanhamento de obra e levantamento de campo; equipamentos robotizados para utilização no canteiro de obras e estoque de materiais; equipamentos de medição integrados a rede; estações topográficas computacionais; realidade aumentada; manufatura aditiva; softwares de gestão e cálculo estrutural; e softwares de Modelagem da Informação da Construção, popularmente conhecido através da sigla BIM (Building Information Modeling. Entretanto, algumas iniciativas de incorporação destas tecnologias são tímidas por parte das empresas e limitadas a apenas alguns serviços (RIBEIRO, 2019; SILVA, 2018).

Os softwares representam as tecnologias da Indústria 4.0 com maior aceitação e facilidade de implementação. Entre os principais tipos de softwares à

disposição no mercado, pode-se citar: os de modelagem BIM; gestão do projeto e do canteiro de obra; gerenciamento de equipamentos e insumos; controle de qualidade e produtividade; o gerenciamento de contratos e documentos; o monitoramento do progresso e da performance de atividades e etapas construtivas; acompanhamento da saúde e segurança dos trabalhadores, acompanhando e reportando incidentes em tempo real e alertando os trabalhadores sobre procedimentos de segurança. (RIBEIRO, 2019; SILVA, 2018).

Dentre as inovações tecnológicas, os softwares que utilizam a plataforma BIM são aqueles com maior receptividade pelas empresas do setor da construção civil e seus colaboradores. Esta é uma plataforma que possibilita o desenvolvimento de projetos mais precisos, complexos e de forma mais ágil (SILVA, 2018). Um fator relevante a se considerar é que nenhuma tecnologia isoladamente pode representar a indústria 4.0. Apesar do conceito BIM ser uma importante tecnologia constituinte da revolução industrial atual, ainda é necessário a seu uso em conjunto com as demais.

### **3 RESULTADOS**

O presente capítulo tem como objetivo abordar as inovações advindas da Quarta Revolução Industrial com aplicação direta na construção civil, objetivando a análise das contribuições dessas tecnologias no ganho de eficiência, eficácia e efetividade nos processos do setor. Devido a sua relevância e aplicabilidade, foram selecionadas tecnologias dos seguintes âmbitos: manufatura aditiva, equipamentos construtivos, modelagem computacional e segurança no trabalho. A partir desta análise, foram elaboradas estratégias de implementação destas tecnologias no setor da construção civil.

#### **3.1 MANUFATURA ADITIVA**

As obras da construção civil frequentemente exigem um alto nível de adaptabilidade, devido as condições problemáticas e irregulares dos canteiros de obras. À vista disto, o emprego das estruturas pré-fabricadas ou pré-moldadas possibilita a mitigação de diversas adversidades identificadas na construção e viabilizam a modernização do setor. As peças são produzidas industrialmente em ambientes controlados, reduzindo a ocorrência de desconformidades, e posteriormente são transportadas para o local de instalação definitiva da estrutura. Desse modo, as estruturas pré-moldadas ou pré-fabricadas proporcionam a redução de custos, rapidez na execução da obra, otimização do cronograma, garantia de qualidade do produto, redução do desperdício de materiais, aumento da integração a outros sistemas construtivos, segurança e possibilidade de reuso das peças após a sua desmontagem (KADLEC, PORTO, 2018).

Neste contexto, são identificados avanços promissores na implementação da manufatura aditiva – ou impressão 3D, como é conhecida popularmente - no setor da construção civil, visto o enorme potencial transformador oportunizado por esta tecnologia. Os métodos de fabricação da manufatura aditiva permitem a materialização de objetos oriundos de modelos digitais, expandindo as possibilidades de criação das estruturas. Assim, é possível construir geometrias complexas sem a limitação dos métodos construtivos tradicionais, além da possibilidade de produção de peças padronizadas em série e da viabilização do emprego de materiais não convencionais. As aplicações são múltiplas: desde a impressão de pequenos

componentes e peças de plástico, até a produção de grandes estruturas em aço ou concreto. Além dos benefícios observados na pré-fabricação, a manufatura aditiva possibilita: a construção autônoma, reduzindo a dependência de mão de obra qualificada; a substituição dos maquinários convencionais pesados de construção por equipamentos menores e mais leves, oportunizando o acesso às áreas remotas e perigosas; a racionalização do uso da matéria-prima, promovendo a sustentabilidade e a redução dos custos; a alta previsibilidade de entrega do produto final; e a flexibilidade das estruturas (RIBEIRO, 2019; KADLEC, PORTO, 2018). De acordo com Kadlec e Porto (2018) e Craveiro et al. (2019), os processos de manufatura aditiva mais proeminentes no setor da construção civil atualmente são: a tecnologia de *Contour Crafting* (construção de contorno); a impressão em concreto; as tecnologias *D-Shape*; e as tecnologias de fusão de materiais.

### **1) Contour Crafting**

O *Contour Crafting* é um método caracterizado pela aplicação de sucessivas camadas de concreto ou pasta cerâmica ao longo de um percurso pré-definido. Seu nome advém da forma como o equipamento opera: a impressão da estrutura é realizada por camadas de material sobrepostas na forma de contornos pré-estabelecidos. A superfície externa e o núcleo da estrutura são produzidos através de processos diferentes, garantindo a racionalização da matéria-prima. Os movimentos do equipamento obedecem a comandos programados por sistemas computadorizados baseados no modelo tridimensional da geometria da estrutura. Este método foi desenvolvido a partir da criação de uma impressora tridimensional especializada instalada junto a um pórtico que se desloca sobre trilhos, depositando o material no seu trajeto e refazendo o caminho dos contornos diversas vezes, até concluir a geometria da estrutura desejada (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019; CRAVEIRO et al., 2019).

### **2) Impressão em Concreto**

O método da impressão tridimensional em concreto possui similaridades com o *Contour Crafting*, contudo os equipamentos utilizados são menores e envolvem a adoção de braços robóticos hidráulicos ou elétricos para o manuseio da impressora. Devido ao tamanho reduzido, este equipamento é indicado para a fabricação de peças e estruturas em ambientes fechados, possibilitando a produção dos componentes fora

dos canteiros de obras. Como observado nos processos que envolvem peças pré-moldadas, o método da impressão tridimensional em concreto oportuniza a fabricação dos componentes separadamente, que, em seguida, são transportados para o seu destino para constituir a estrutura final (KADLEC, PORTO, 2018).

### **3) D-Shape**

A tecnologia *D-Shape* consiste na impressão tridimensional de estruturas a partir da utilização de agregados granulados inorgânicos misturados a um aglomerante específico administrado pela impressora. Este método dispõe de equipamentos modulares que podem ser agrupados nas mais variadas formas, visando se adaptar às particularidades da estrutura e do local de implantação. Uma das suas vantagens é a possibilidade de utilização da matéria inerte do solo, como areia ou pequenas rochas trituradas, para a composição do agregado. Deste modo, a matéria-prima para a construção das edificações podem ser extraídos diretamente do entorno da obra (CRAVEIRO et al., 2019; KADLEC, PORTO, 2018).

### **4) Fusão de materiais**

Esta tecnologia permite a impressão tridimensional de estruturas complexas através do derretimento de materiais com alto ponto de fusão, como o vidro e metais, em filamentos depositados sucessivamente. Para a criação de componentes metálicos é utilizado máquinas de solda instaladas em braços robóticos controlados por computador, enquanto para a produção de vidro é empregado lasers que derretem a areia a temperaturas entre 1400°C e 1600°C (CRAVEIRO et al., 2019).

De acordo com projeções, as edificações fabricadas através das tecnologias da manufatura aditiva poderão gerar economia de até 80% em relação aos métodos construtivos tradicionais e eliminar o desperdício de matéria-prima. Como visto, os métodos de impressão tridimensional aplicados ao setor da construção civil possuem forte potencial de transformação desta indústria, entretanto ainda existem empecilhos para a sua disseminação, como: a capacidade de produção das máquinas é limitada a edificações de pequeno porte; falta qualificação da mão de obra para operar as impressoras tridimensionais; e o custo de aquisição dos equipamentos ainda é muito alto para a maioria das empresas do setor (CRAVEIRO et al., 2019; RIBEIRO, 2019; KADLEC, PORTO, 2018). Apesar da dificuldade em estimar quando a manufatura

aditiva substituíra os processos de construção tradicionais, a tendência é que as suas tecnologias se tornem paulatinamente mais acessíveis e populares dentro da indústria da construção civil nos próximos anos.

### **3.1.1 Implementação**

No presente, a aplicação predominante da manufatura aditiva encontra-se na fabricação de edificações de pequeno porte, visto que as suas tecnologias ainda estão sendo aprimoradas e dificilmente podem ser empregadas em larga escala ou com alta produtividade em construções de grande porte. Os componentes produzidos através da impressão tridimensional ainda possuem desvantagens em comparação com as estruturas pré-fabricadas, como a resistência estrutural menor e o custo de produção superior (RIBEIRO, 2019). Objetivando a implementação da tecnologia da manufatura aditiva no setor da construção civil foram traçadas as seguintes estratégias, separadas entre a esfera pública e a privada:

- **Esfera Pública**

- 1) Adaptar as normas técnicas, códigos e regulamentações**

- a. Apoiar a elaboração e publicação de normas técnicas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);
- b. Adequar o aparato legal e regulamentar para viabilizar a utilização da manufatura aditiva na construção civil, sobretudo na fabricação de residências para a população de baixa renda e componentes individuais;

- 2) Estimular a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas a manufatura aditiva**

- a. Intensificar os investimentos nos laboratórios de pesquisa destinados ao desenvolvimento de tecnologias de impressão tridimensional para o setor da construção civil;
- b. Fomentar os programas de pesquisa da manufatura aditiva;
- c. Estabelecer parcerias entre os centros de pesquisas e as empresas da construção civil, visando o desenvolvimento de tecnologias nacionais acessíveis;

### **3) Criar condições favoráveis para o investimento na manufatura aditiva**

- a. Criar programas de incentivo ao investimento direcionadas para *startups* que dispõem de um modelo de negócio orientado ao desenvolvimento de moradias populares através desta técnica;
- b. Adaptar as linhas de financiamento para o investimento em tecnologias de impressão tridimensional;

#### **• Esfera Privada**

##### **1) Capacitar os colaboradores**

- a. Capacitar os profissionais envolvidos na operação dos equipamentos;
- b. Definir um plano de capacitação e treinamento contínuo, objetivando adaptar os colaboradores as novas tecnologias, métodos e possibilidades da manufatura aditiva;

##### **2) Elaborar modelos de teste**

- a. Realizar experiências em escalas reduzidas, visando analisar os resultados obtidos através da manufatura aditiva, assim como minimizar qualquer risco provocado por eventuais falhas;
- b. Identificar as necessidades relativas ao aprendizado e a capacitação da equipe encarregada na operação do equipamento;

##### **3) Determinar as tecnologias e as técnicas empregadas**

- a. Analisar as demandas dos projetos para determinar as tecnologias e técnicas de impressão tridimensional que serão empregadas;
- b. Definir a plataforma tecnológica para a elaboração dos projetos, inclusive a versão dos *softwares* que serão utilizados;
- c. Determinar a logística envolvida no transporte dos equipamentos para o canteiro de obras;

##### **4) Determinar os parâmetros de qualidade**

- a. Definir o nível de qualidade do produto final;
- b. Estabelecer os procedimentos de controle de qualidade dos entregáveis;

### 3.2 EQUIPAMENTOS CONSTRUTIVOS

No setor da construção civil, os equipamentos construtivos advindos da Quarta Revolução Industrial que mais se destacam são os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou *Drones* - termo como é conhecido popularmente as aeronaves não tripuladas. As potencialidades destes equipamentos encontram-se nas aplicações técnicas oportunizadas pelos dispositivos que podem ser conectados a eles, como as câmeras, sensores, radares, lasers, navegação GPS, entre outros. Estes equipamentos têm se popularizado nos últimos anos no setor da construção devido a fatores, como: baixo custo de aquisição; alto grau de manobrabilidade, locomovendo-se facilmente no sentido vertical e horizontal; possibilidade de ser controlado a distância e de maneira autônoma; capacidade de voar por longas distâncias; tamanho reduzido; e garantia de operar em locais de risco sem colocar vidas em perigo (RIBEIRO, 2019; KADLEC, PORTO, 2018).

Os VANTs ou *Drones* têm sido empregados com regularidade no gerenciamento de obras pelas empresas da construção civil devido aos benefícios oportunizados por eles. Em razão da capacidade de alcançar locais de difícil acesso, estes equipamentos podem ser incorporados a diversas etapas do projeto mediante a coleta de imagens e dados, como: na análise do lote e do entorno; no levantamento planialtimétrico do terreno, no acompanhamento da obra; e na realização de inspeções e manutenções após a conclusão da construção (KADLEC, PORTO, 2018).

Ao término da obra, os VANTs ou *Drones* auxiliam o profissional habilitado na realização de inspeções, auditorias e perícias de acordo com a metodologia de ensaios não destrutivos. Mediante as análises dos dados coletados, é possível avaliar as condições de desempenho térmico da edificação, sua funcionalidade, segurança da estrutura, patologias, estado de conservação, utilização e operação. Conseqüentemente, o profissional pode determinar a necessidade de realizar manutenções preditivas e corretivas da edificação (RIBEIRO, 2019).

A segurança dos trabalhadores da construção também é impactada, visto que os Veículos Aéreos Não Tripulados facilitam o monitoramento em tempo real da obra. Em conjunto com os sistemas computacionais, extensas áreas podem ser inspecionadas rotineiramente pelos equipamentos, possibilitando a detecção de problemas causadores de acidentes, analisam a utilização correta dos equipamentos de proteção individual pelos colaboradores e viabilizam respostas rápidas a qualquer

emergência. A segurança do trabalho na construção civil está diretamente associada à logística do canteiro de obras, contudo dificilmente se vincula as duas atividades durante a etapa de planejamento e como consequência, a gestão de produção e os requisitos de segurança são elaborados separadamente (RIBEIRO, 2019; KADLEC, PORTO, 2018).

### 3.2.1 Implementação

A ampla variabilidade de aplicações e os preços acessíveis dos Veículos Aéreos Não Tripulados possibilitaram a ampla difusão desta tecnologia no setor da construção. Diversas empresas comercializam estes equipamentos no Brasil em conjunto com o oferecimento de serviços de captura e processamento de dados, *softwares* de controle de voo e visualização de informações. Visando promover a implementação destes equipamentos, foram elaboradas as seguintes estratégias, segmentadas entre a esfera pública e a privada:

- **Esfera Pública**

- 1) **Divulgar as regras da ANAC para o uso de *Drones***

- a. Divulgar entre as empresas do setor da construção civil o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial - RBAC-E nº 94 (2017), que trata sobre a utilização de Veículo Aéreos Não Tripulados da Classe 3 (peso máximo de decolagem de até 25kg);

- 2) **Estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias e técnicas relacionadas aos *Drones***

- a. Ampliar os investimentos nos laboratórios de pesquisa destinados ao desenvolvimento e aplicação prática de Veículos Aéreos Não Tripulados na construção civil;
- b. Fomentar os programas de pesquisa;
- c. Estabelecer parcerias entre os centros de pesquisas e as fabricantes de *Drones*, visando o desenvolvimento de tecnologias nacionais de baixo custo;

- **Esfera Privada**

- 1) **Definir as etapas de utilização dos *Drones***

- a. Determinar as etapas de implementação dos Veículos Aéreos Não Tripulados dentro do ciclo de vida do empreendimento;
- b. Mapear os processos construtivos, garantindo a empregabilidade dos equipamentos nas etapas de projeto;

**2) Capacitar os colaboradores**

- a. Capacitar os profissionais para operarem os Veículos Aéreos Não Tripulados;
- b. Definir um plano de capacitação e treinamento contínuo;

**3) Determinar as especificações dos equipamentos e dos seus dispositivos**

- a. Analisar as necessidades dos projetos para determinar o tipo de equipamento empregado e quais os dispositivos necessários para a coleta de dados;
- b. Definir a plataforma tecnológica para a comunicação com os equipamentos e armazenamento de informações;

### **3.3 MODELAGEM COMPUTACIONAL – PLATAFORMA BIM**

O conceito BIM – *Building Information Modelling* ou Modelagem de Informação da Construção – compreende tecnologias e processos utilizados na produção, comunicação e análise dos modelos de construção, tornando a prática projetual mais integrativa e colaborativa entre os profissionais. Fundamenta no princípio da interoperabilidade, a plataforma BIM foi desenvolvida para aumentar a compatibilidade dos projetos, otimizando a produtividade e eliminando os erros de execução. Os sistemas computacionais BIM possibilitam a elaboração de todas as etapas que compõem o projeto, seja na elaboração do planejamento, orçamento e operação, assim como no desenvolvimento dos projetos técnicos, como por exemplo o arquitetônico, estrutural, elétrico, hidrossanitário, climatização, fundação, prevenção e combate contra incêndio, entre outros. Dessa forma, os modelos são constituídos por informações compartilháveis e gerenciáveis ao longo de todo o ciclo de vida da edificação, tornando possível processar os dados em diferentes *softwares* e posteriormente disponibilizá-los a todos os participantes do empreendimento, possibilitando as tomadas de decisão de maneira colaborativa. (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019; RIBEIRO, 2019).

Os projetos que anteriormente eram desenvolvidos em programas e plataformas diferentes podem se tornar compatíveis por meio da adoção do protocolo IFC (*Industry Foundation Classes*). O IFC é um formato específico de dados, de licença aberta, que permite o intercâmbio entre os projetos desenvolvidos em diferentes *softwares* sem que ocorra a perda ou distorção dos dados e informações. Este formato visa facilitar, assim como promover, a interoperabilidade entre os todos os colaboradores do projeto (RIBEIRO, 2019; LIMA, 2018).

De acordo com Barducco e Constâncio (2019) e Lima (2018), a plataforma BIM compreende as seguintes dimensões do ciclo de vida do projeto:

### **1) 3D – Modelo**

A terceira dimensão consiste na modelagem tridimensional em um ambiente virtual de todos os elementos integrantes do projeto, acompanhados das suas informações e especificações técnicas. À vista disso, é possível mensurar as dimensões dos elementos e definir o seu posicionamento espacial, além de fornecer os relatórios quantitativos e detectar problemas de compatibilização entre as disciplinas (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019; RIBEIRO, 2019).

### **2) 4D – Planejamento de obra**

A quarta dimensão estabelece a correlação entre os elementos modelados na fase anterior e o planejamento de obra, permitindo simular virtualmente a execução da edificação. Desse modo, é possível confrontar em tempo real a evolução da execução da obra com o que foi proposto no cronograma físico (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019; LIMA, 2018).

### **3) 5D – Orçamento**

A quinta dimensão é caracterizada pela correlação entre a modelagem e a estimativa de custo da obra, à vista disso é possível extrair os dados para a composição do orçamento através das informações atribuídas aos elementos projetuais. Assim que alguma alteração em projeto é realizada, as tabelas de quantitativos e custos são automaticamente atualizadas (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019; LIMA, 2018).

### **4) 6D – Sustentabilidade**

A sexta dimensão é expressa pela avaliação da sustentabilidade da edificação através de análises de eficiência energética. Os parâmetros físicos e geométricos dos elementos projetuais permitem a realização de diversas simulações energéticas dentro dos *softwares* BIM. A partir dos resultados obtidos, é possível fazer adequações ao projeto para atingir as metas de eficiência energética almeçadas (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019).

### **5) 7D – Gestão e manutenção do edifício**

A sétima e última dimensão consiste na extração de informações que propiciam a gestão da operação e manutenção da edificação. Os dados atrelados aos elementos de projeto podem informar sobre o fabricante do componente, o tempo de garantia, a vida útil, a resistência mecânica e térmica, entre outras informações pertinentes. Após o encerramento da obra, os gestores da edificação podem planejar com antecedência a realização dos serviços de manutenção (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019; LIMA, 2018).

A plataforma BIM proporciona diversos avanços ao setor da construção civil, em contraste com as metodologias tradicionais, como a otimização dos prazos, automatização de todos os processos, maior confiabilidade dos projetos, precisão de planejamento e controle de obras, economia dos recursos empregados, assim como a redução dos custos, riscos e dos erros de compatibilização. Entretanto, determinados obstáculos comprometem a adoção, e conseqüente disseminação, do BIM pelas empresas, tais como: o custo elevado de aquisição de *softwares*; dispendiosos investimentos em computadores e equipamentos de alto desempenho; exigência de profissionais capacitados; destinar tempo para a adaptação dos colaboradores a novas metodologias de projeto; e necessidade de revisão e atualização dos projetos desenvolvidos em plataformas inferiores, como o CAD 2D (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019; RIBEIRO, 2019).

#### **3.3.1 Implementação**

Com o intuito de promover a modernização e a transformação digital da construção, o Governo Federal criou em 2017 o Comitê Estratégico de Implementação do *Building Information Modelling* – CE-BIM para desenvolver estratégias que alinhassem as ações e iniciativas da esfera pública e privada, de modo a incentivar a

adoção do BIM no Brasil e promover as mudanças necessárias para a criação de um ambiente favorável para o uso desta tecnologia. Do mesmo modo, a Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2016) elaborou a Coletânea de Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras, visando orientar e facilitar a sua aplicação pelas empresas do setor da construção civil. Para alcançar os resultados pretendidos, o CE-BIM (2018) definiu 9 objetivos específicos e suas respectivas ações, ao passo que a CBIC (2016) estabeleceu um roteiro para implementação do BIM através de 10 etapas. A partir da síntese destas ações, foram delineadas as seguintes estratégias, divididas entre a esfera pública e a privada:

- **Esfera Pública**

- 1) Difundir o conceito BIM e seus benefícios**

- a. Implementar planos de divulgação do conceito BIM e dos seus benefícios por meio de publicações, eventos e uso de mídias digitais;
- b. Sensibilizar os atores quanto a importância da adoção do BIM para a transformação da indústria da construção civil;
- c. Mitigar as desigualdades regionais em relação a disseminação do BIM;

- 2) Estruturar o setor público para a adoção do BIM**

- a. Aprimorar os processos internos com ênfase no mapeamento e planejamento do uso do BIM pelo setor público;
- b. Desenvolver a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM;
- c. Fomentar a autossustentabilidade do acervo de objetos da Biblioteca Nacional BIM;
- d. Adaptar o aparato legal e regulamentar para exigir a utilização do BIM em programas governamentais;
- e. Promover parcerias internacionais para a troca de experiências;

- 3) Criar condições favoráveis para o investimento em BIM**

- a. Criar programas de incentivo ao investimento de micro e pequenas empresas;
- b. Adaptar as linhas de financiamento para o investimento em BIM;

- 4) Estimular a capacitação em BIM**

- a. Estimular a certificação em BIM de profissionais;

- b. Introduzir o BIM nas disciplinas de graduação e pós-graduação de cursos da construção civil;
- c. Definir objetivos de aprendizagem e competências BIM para a oferta de cursos;

**5) Elaborar normas técnicas, guias e protocolos para a adoção do BIM**

- a. Determinar a estrutura regulamentar que permita a certificação de profissionais;
- b. Publicar documentos e referências técnicas para a elaboração de projetos em BIM;
- c. Apoiar a elaboração e publicação de normas técnicas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);

**6) Estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM**

- a. Apoiar o aprimoramento e aplicação de soluções de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC);
- b. Ampliar os investimentos na estrutura física dos laboratórios de pesquisa BIM;
- c. Fomentar os programas de pesquisa;

• **Esfera Privada**

**1) Definir a fase de implementação do BIM**

- a. Determinar a fase inicial de implementação do BIM dentro do ciclo de vida do empreendimento;
- b. Mapear e revisar os processos construtivos, garantindo aderência dos projetos em BIM ao planejamento e orçamento da empresa;

**2) Definir os objetivos corporativos para implementação do BIM**

- a. Alinhar os objetivos da implementação do BIM aos objetivos corporativos;
- b. Estabelecer referências de desempenho que possibilitem a mensuração dos benefícios proporcionados pela adoção desta metodologia;

**3) Definir os gestores e colaboradores responsáveis pela implementação do BIM**

- a. Selecionar os gestores capazes de liderar e coordenar a implementação do BIM;
- b. Definir as equipes encarregadas pelo desenvolvimento dos projetos em BIM;
- c. Realizar reuniões periódicas para o gerenciamento da implementação e do desenvolvimento de projetos;

#### **4) Capacitar os colaboradores**

- a. Capacitar os profissionais na realização de processos BIM;
- b. Definir um plano de capacitação e treinamento contínuo;

#### **5) Mapear os processos BIM através de casos de uso**

- a. Identificar os casos de uso de BIM mais proeminentes para serem usados como referência de implementação, considerando a aderência deles aos objetivos corporativos;
- b. Analisar e ajustar os processos dos casos de usos de BIM as particularidades da empresa, avaliando os potenciais ganhos e riscos;

#### **6) Elaborar projetos-piloto de implementação**

- a. Elaborar projetos-piloto em BIM que representem os principais empreendimentos concebidos pela empresa, visando familiarizar os colaboradores a nova metodologia;
- b. Identificar as necessidades relativas ao aprendizado e a capacitação da equipe encarregada da implementação BIM;

#### **7) Determinar a infraestrutura e a tecnologia empregada**

- a. Analisar as exigências dos projetos para determinar a infraestrutura e as tecnologias BIM empregadas;
- b. Definir a plataforma tecnológica para a elaboração dos projetos, inclusive a versão dos *softwares* que serão utilizados;
- c. Determinar as especificações mínimas relativas ao hardware que será utilizado na implementação do BIM, considerando a capacidade de processamento dos equipamentos;

#### **8) Determinar os parâmetros de interoperabilidade**

- a. Planejar e coordenar o intercâmbio de informações entre todas as partes envolvidas no desenvolvimento do empreendimento;

- b. Definir os responsáveis pela elaboração do conteúdo de cada disciplina de projeto;
- c. Analisar a ocorrência de incompatibilidades entre os conteúdos produzidos;
- d. Estabelecer os procedimentos de controle de qualidade dos entregáveis planejados;

**9) Especificar os requisitos de contratação de projeto em BIM**

- a. Definir a qualificação mínima em BIM do corpo técnico;
- b. Determinar o fluxo de trabalho e o cronograma de atividades do projeto em BIM;
- c. Delimitar as informações mínimas requeridas para a realização das etapas de projeto;
- d. Definir os entregáveis previstos para cada parte envolvida;
- e. Estabelecer o nível de qualidade dos entregáveis.

### **3.4 SEGURANÇA NO TRABALHO**

O ambiente de trabalho do setor da construção civil é considerado um dos mais inseguros para os trabalhadores, apresentando o maior nível de acidentes ocupacionais entre todas as indústrias. Os operários deste setor são expostos a inúmeros fatores de risco, sendo as quedas decorrentes das atividades em locais elevados a causa predominante das fatalidades. Neste sentido, a implementação das tecnologias advindas da Indústria 4.0 no tocante a redução destas ocorrências é promissora, em razão das soluções disponíveis para elevar a segurança dos trabalhadores no canteiro de obras (KADLEC, PORTO, 2018).

Como exposto anteriormente, as tecnologias citadas demonstram um significativo progresso em relação à segurança dos trabalhadores da construção civil. A substituição da mão de obra humana por máquinas e robôs nos canteiros de obras proporcionam a atenuação da exposição dos trabalhadores aos riscos envolvidos nos processos construtivos. Algumas outras soluções têm sido desenvolvidas para: melhorar as condições de segurança e saúde dos colaboradores do setor, como: proteger o indivíduo por meio de tecnologias vestíveis e *softwares* capazes de detectar situações de risco; visualizar o resultado final da obra dentro do ambiente físico inacabado; analisar a utilização adequada de equipamentos de proteção individual; e

emitir alertas no caso do mal-uso dos equipamentos (KADLEC, PORTO, 2018). As tecnologias vestíveis são caracterizadas por aparatos inteligentes trajados pelo usuário, compreendendo: capacetes inteligentes, como o DAQRI *Smart Helmet*, que exibem no campo de visão do usuário as projeções tridimensionais do projeto com os seus detalhes e informações; óculos de realidade aumentada, como o *Microsoft HoloLens*, que disponibilizam remotamente para o usuário as instruções da execução da obra; e os sensores vestíveis, que monitoram e informam para o usuário o seu estado de saúde e as condições do meio físico (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019).

Derivado da Internet das Coisas, os sensores vestíveis são dispositivos que podem ser instalados nas roupas, capacetes ou acessórios para garantir a segurança dos trabalhadores. Estes sensores são capazes de avaliar diversas condições físicas e químicas, alertando o usuário ou um grupo de pessoas sobre diversos riscos e situações de perigo do canteiro de obras, como por exemplo: a frequência cardíaca, de modo a evitar a ocorrência de estresse ou ataques cardíacos; a temperatura corporal, de forma a impedir a exaustão térmica; a presença de substâncias tóxicas, de maneira a alertar o usuário sobre concentrações fatais no ambiente; e quando acoplados aos coletes dos operários, como no caso do equipamento *InZoneAlert*, são capazes de enviar sinais para os maquinários e veículos pesados do seu entorno, prevenindo a ocorrência de acidentes (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019; KADLEC, PORTO, 2018).

### **3.4.1 Implementação**

Sendo a segurança do trabalho uma das maiores deficiências do setor da construção civil, a Quarta Revolução Industrial apresenta avanços significativos para a mudança deste cenário. As aplicações das tecnologias citadas podem converter os custos da remediação de acidentes e indenização dos indivíduos acidentados em investimentos para o aumento da produtividade, qualidade do projeto e agilidade na execução das obras. Os efeitos da implementação destas inovações se refletem também na experiência cotidiana dos trabalhadores, que observam um ambiente de trabalho mais seguro, moderno e controlado (KADLEC, PORTO, 2018; OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Visando a implementação de tecnologias direcionadas ao aumento da segurança no trabalho dentro do setor da construção

civil, foram traçadas as seguintes estratégias, separadas entre a esfera pública e a privada:

- **Esfera Pública**

- 1) Difundir as soluções de segurança do trabalho e seus benefícios**

- a. Implementar planos de divulgação dos seus benefícios por meio de publicações, eventos e uso de mídias digitais;
- b. Sensibilizar os atores quanto a importância da adoção de novas tecnologias para o aumento da segurança do trabalho;
- c. Mitigar as desigualdades regionais em relação a disseminação destas tecnologias;

- 2) Criar condições favoráveis para o investimento em soluções de segurança do trabalho**

- a. Criar programas de incentivo ao investimento de micro e pequenas empresas;
- b. Adaptar as linhas de financiamento para o investimento em novas tecnologias;

- 3) Atualizar a estrutura regulamentar**

- a. Alterar as normas regulamentadoras, tendo em vista a implementação de equipamentos que garantam maior segurança aos trabalhadores no canteiro de obra;
- b. Publicar documentos e referências técnicas;
- c. Apoiar a elaboração e publicação de normas técnicas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);

- 4) Promover a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas à segurança do trabalho**

- a. Aumentar os investimentos nos laboratórios de pesquisa;
- b. Fomentar os programas de pesquisa;

- **Esfera Privada**

- 1) Definir os colaboradores responsáveis pelos procedimentos de segurança**

- a. Selecionar os engenheiros ou técnicos incumbidos de executar os procedimentos de segurança do trabalho;

- b. Realizar reuniões periódicas para o gerenciamento da implementação dos equipamentos de proteção individual advindos da Indústria 4.0;
- c. Analisar a conformidade da empresa perante as exigências legais de segurança do trabalho;

**2) Orientar os colaboradores sobre a utilização dos equipamentos**

- a. Orientar os profissionais acerca do uso correto dos equipamentos de proteção individual;
- b. Definir programas de prevenção e orientação contínua;
- c. Ministrando treinamentos de segurança;

**3) Definir as metas e acompanhar os resultados**

- a. Estabelecer as metas a serem alcançadas através da implementação de novas soluções de segurança;
- b. Estabelecer referências de desempenho que possibilitem a mensuração dos benefícios proporcionados pela adoção destes equipamentos;

## 4 CONCLUSÃO

Através deste estudo fica evidente as contribuições oportunizadas pela Quarta Revolução Industrial nos setores manufatureiros e, conseqüentemente, o seu potencial de transformação da sociedade como um todo. A incorporação de máquinas providas de inteligência artificial nos processos produtivos, substituindo a mão de obra humana, possibilita o aumento da eficiência na utilização dos recursos disponíveis, a produtividade da indústria e a mudança da forma de coleta e análise dos dados, ampliando exponencialmente os métodos de tratamento das informações. Concomitantemente, haverá mudanças na forma que as empresas serão gerenciadas, pois a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 exigirá a cooperação de todos os setores dentro da companhia e, sobretudo, das áreas de tecnologia de informação.

Nos próximos anos o perfil do profissional também passará por mudanças, demandando a requalificação dos indivíduos já inseridos no mercado de trabalho, de modo que estejam aptos para lidar com as novas tecnologias e dinâmicas da Quarta Revolução Industrial. Por conseguinte, a formação acadêmica dentro das instituições de ensino deverá ser adaptada e atualizada para a nova realidade, visando alinhar o conhecimento teórico às práticas profissionais exigidas.

A construção civil representa um dos setores que mais contribuem para o desenvolvimento socioeconômico no Brasil, empregando aproximadamente 7,5 milhões de brasileiros e estimulando o crescimento do setor terciário. Apesar dos entraves e da cultura apática em relação a inovação, é verificado que o setor da construção civil tem buscado se adaptar as mudanças nos últimos anos, objetivando explorar as oportunidades decorrentes da Indústria 4.0. As aplicações destas inovações são amplas, abrangendo todas as fases do ciclo de vida do projeto, ou seja, desde o planejamento até o pós-obra da edificação. Através deste estudo, foram identificadas tecnologias capazes de colaborar no aumento da segurança, produtividade e competitividade pelas empresas do setor da construção, como: a manufatura aditiva; os equipamentos construtivos, representados por Veículos Aéreos Não Tripulados, coletes de segurança e acessórios tecnológicos; a plataforma BIM; e soluções para o aumento da segurança no canteiro de obras, como os sensores vestíveis. Algumas tecnologias ainda estão em fase de desenvolvimento, como as técnicas de impressão tridimensional, enquanto as demais já se encontram na fase

de implementação, apresentando ampla difusão entre as empresas, como os *softwares* BIM e os *Drones*.

É esperado que a disseminação das tecnologias advindas da Indústria 4.0 no setor da construção civil sejam intensificadas nos próximos anos, devido às potencialidades por ela apresentadas. Cabe destacar a importância da atuação governamental junto as empresas, objetivando promover e facilitar as iniciativas de implementação destas tecnologias. Os profissionais deste setor também devem se conscientizar sobre a importância da aceitação de novas tecnologias, expondo esta discussão para os empresários e investidores dessa indústria sobre as tendências que definirão o rumo da construção civil nos próximos anos.

## REFERÊNCIAS

- ABDI. **Inovação, Manufatura avançada e o futuro da indústria: uma contribuição ao debate sobre as políticas de desenvolvimento produtivo.** Brasília, 2017.
- ANAC. **Orientações para usuários de Drones.** 1 ed. Agência Nacional de Aviação Civil/ Assessoria de Comunicação Social – ASCOM, Brasília, 2017.
- ALALOUL, W. S.; LIEW, M.S.; ZAWAWI, N. A. W., et al. **Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders.** Ain Shams Engineering Journal, Vol. 11 – N. 1, p. 225-230, 2020, ISSN 2090-4479, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>. 2019.
- BARDUCCO, A. P. S.; CONSTÂNCIO, B. M., **Indústria 4.0: Tecnologias Emergentes no Cenário da Construção Civil e suas Aplicabilidades.** Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019.
- CAVALCANTI, V. Y. S. L.; SOUZA, G. H.; SODRÉ, M. A. C.; et al. **Indústria 4.0: Desafios e Perspectivas na Construção Civil.** Revista Campo do Saber, Vol. 4 – N. 4, p. 146 – 158, ago./ set. 2018.
- CBIC. **Implementação BIM – Parte 2: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras/ Câmara Brasileira da Indústria da Construção.** Brasília: CBIC, 2016.
- CE-BIM. **BIM BR: construção inteligente.** Ministério da Indústria. Comércio Exterior e Serviços. [S.l.]. 2018.
- CNI. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil.** Brasília, 2016.
- CRAVEIRO, F.; DUARTE, J. P.; BARTOLO, H., et al. **Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0.** Automation in Construction. N. 103, p. 251-267, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011>
- DATHEIN, R. **Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas dominantes nos séculos XVIII e XIX.** Publicações DECON Textos Didáticos, DECON, UFRGS, Porto Alegre, fevereiro 2003.
- FIRJAN. **Indústria 4.0 – Panorama da Inovação.** Cadernos SENAI de Inovação, abril 2016.
- FIRJAN. **Indústria 4.0: Internet das Coisas.** Cadernos SENAI de Inovação, jun. 2016.
- FIRJAN. **A Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios.** Tendências e Inovação, Rio de Janeiro, jan. 2019.
- GOMES, F. L. **As causas do baixo investimento em tecnologias digitais no setor de incorporação imobiliária no Brasil.** Congresso Transformação Digital 2018. FGV EAESP, São Paulo, 2018.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review.** Technische Universität Dortmund, 2015.
- IBGE. **Contas Nacionais Trimestrais.** Out./ dez. 2018.
- IEDI. **Transformação digital no Brasil: desafios e avanços recentes.** 2021. Disponível em: [https://iedi.org.br/artigos/destaque/2017/destaque\\_iedi\\_20210405.html](https://iedi.org.br/artigos/destaque/2017/destaque_iedi_20210405.html). Acesso em: 08 abril 2021.

- IEDI. **Promovendo a Inovação Digital no Brasil**. 2021. Disponível em: [iedi.org.br/cartas/carta\\_iedi\\_n\\_1062.html](http://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_1062.html). Acesso em: 08 abril 2021.
- IEDI. **As economias emergentes face à indústria 4.0**. 2019. Disponível em: [iedi.org.br/cartas/carta\\_iedi\\_n\\_899.html](http://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_899.html). Acesso em: 08 abril 2021.
- IEDI. **O Desafio 4.0 para a Indústria Brasileira**. 2018. Disponível em: [https://www.iedi.org.br/cartas/carta\\_iedi\\_n\\_895.html](https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_895.html). Acesso em: 09 abril 2021.
- ISAIA, G. C et al. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais – 3ª Edição Atualizada e Ampliada Vol. I e Vol. II**. Ed.: IBRACON. ISBN.:978-85-98576-27-5. Português, p.1726, 2017.
- LIMA, L. F. D., **Caderno BIM: coletânea de cadernos orientadores: caderno de especificações técnicas para contratação e projeto em BIM – Edificações Curitiba, PR: Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística, 2018.**
- MCTIC. **Perspectivas de especialistas brasileiros sobre a manufatura avançada do Brasil: Um relato de workshops realizados em sete capitais brasileiras em contraste com as experiências internacionais**. Brasília, 2016.
- MCKINSEY INSTITUTE. **Reinventing construction: a route to higher productivity**. 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>. Acesso em: 16 mar. 2021.
- NEWMAN, C.; EDWARDS, D.; MARTEK, I. et al. **Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study, Smart and Sustainable Built Environment**. Vol. ahead-of-print N. ahead-of-print, <https://doi.org/10.1108/SASBE-02-2020-0016>, 2020
- OESTERREICH, T.D.; TEUTEBERG, F. **Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry**. Computers in Industry, Vol. 83, p. 121-139, doi: 10.1016/j.compind.2016.09.006. 2016. 2016.
- PEREIRA, A.; SIMONETTO, E. D. O. **Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil**. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Vol. 16, p. 1-9, jan./jul. 2018.
- PICCHI, F. A. **Oportunidades da aplicação do Lean Thinking na construção**. Ambiente Construído, Porto Alegre, Vol. 3, p. 7-23, jan./ mar. 2003.
- PORTO, G. D. B. P.; KADLEC, T. M. D. M., **Mapeamento de Estudos Prospectivos de Tecnologias na Revolução 4.0: Um Olhar para a Indústria da Construção Civil**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.
- RIBEIRO, D. A. **Tecnologias advindas da Indústria 4.0 aplicada na construção civil: efeitos e desafios da implementação no Brasil**. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.
- VIEIRA, T. L. **Aplicação do Sistema Lean na Construção Civil e os critérios competitivos no setor**. XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2015.

- SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**/ Milton Santos. – 4. ed. 2. reimpr. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006
- SCHWAB, K. **The Global Competitiveness Report 2018**. World Economic Forum, Cologny/Genebra, 2018.
- SIEMENS. **Fórum de Digitalização Brasil**. 2015. Disponível em: [https://www.fdc.org.br/sobre-a-fdc-site/responsabilidade-social-site/Documents/relatorio\\_anual2015.pdf](https://www.fdc.org.br/sobre-a-fdc-site/responsabilidade-social-site/Documents/relatorio_anual2015.pdf). Acesso em: 17 mar. 2021.
- SILVA, A. D. D. **Impactos da Indústria 4.0 na Construção Civil**. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2018.
- SIMÃO, A. D. S. et al. **Impactos da indústria 4.0 na construção civil brasileira**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, Vol. 5, N. 10, p. 19670 – 19685, out. 2019.
- TEIXEIRA, F. D. S.; TEIXEIRA, P. C. D. S.; ROCHA, C. A. M. **Estudo Prospectivo sobre Inteligência Artificial Aplicada ao Setor da Construção Civil**. Cadernos de Prospecção – Salvador, Vol. 14, N. 4, p. 1134 – 1146, set. 2020.