



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Douglas Arthur Coutinho Ribeiro

**Tecnologias advindas da Indústria 4.0 aplicada na
construção civil: efeitos e desafios da implantação no
Brasil**

Ouro Preto

2019

Tecnologias advindas da Indústria 4.0 aplicada na construção civil: efeitos e desafios
da implantação no Brasil

Douglas Arthur Coutinho Ribeiro

Monografia de conclusão de curso para
obtenção do grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto
defendida e aprovada em 16 de julho de
2019 como parte dos requisitos para a
obtenção do Grau de Engenheiro Civil.
Banca examinadora:

Área de concentração: Gestão de Obras

Orientador: Prof. D.Sc. Paulo Marcos De Barros Monteiro - UFOP

Ouro Preto

2019

R484t

Ribeiro, Douglas Arthur.

Tecnologias advindas da Indústria 4.0 aplicada na construção civil: efeitos e desafios da implantação no Brasil [manuscrito] / Douglas Arthur Ribeiro. - 2019.

62f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Monteiro.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Indústria 4.0. 2. Construção civil. 3. Modelagem de informação da construção - Building Information Model (BIM). 4. Impressora 3D. 5. Drone. I. Monteiro, Paulo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

Tecnologias advindas da Indústria 4.0 aplicada na construção civil: efeitos e desafios
da implantação no Brasil

Douglas Arthur Coutinho Ribeiro

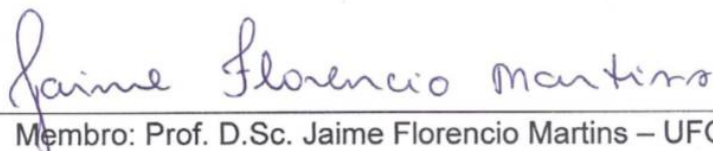
Monografia de conclusão de curso para
obtenção do grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto
defendida e aprovada em 16 de julho de
2019 como parte dos requisitos para a
obtenção do Grau de Engenheiro Civil.
Banca examinadora:



Orientador: Prof. D.Sc. Paulo Marcos De Barros Monteiro - UFOP



Membro: Prof^a. D.Sc. Fernando Antônio Borges Campos – UFOP



Membro: Prof. D.Sc. Jaime Florencio Martins – UFOP

AGRADECIMENTOS

Com esse trabalho se encerra um ciclo na minha vida, porém sempre vou levar comigo as pessoas que foram importantes e que me ajudaram nessa jornada. Essa é uma oportunidade de expressar o quanto elas representaram.

Aos meus pais Rosimere e Luis Arthur, por me darem carinho e educação. Aos meus avós Ardi, Abdula, eles sempre foram um exemplo na minha vida. Aos meus irmãos Tamara e Wagner, eles sempre me apoiaram mesmo de longe. A minha tia Ana Cláudia por cuidar tanto de mim.

Aos amigos que fiz em Ouro Preto, pelo apoio nos momentos difíceis e alegria nos de comemoração. À Republica Pureza por me proporcionar um lar e amigos para toda a vida. À Ágatha por sempre estar ao meu lado.

Aos meus professores por todo o trabalho duro prestado, em especial ao Paulo Monteiro e ao Rispoli pela orientação e atenção dada. Através de seus ensinamentos espero conseguir ajudar a sociedade. À Fundação Gorceix, ela me proporcionou vários cursos e amparo em toda a minha vida estudantil. A Escola de Minas e a todos os seus funcionários por tornar possível a minha graduação e a de tantos outros engenheiros.

RESUMO

O setor da construção civil no Brasil é historicamente resistente a mudanças e sofre com a baixa produtividade, porém recentemente, devido a diversas inovações e mudanças do paradigma vigente em âmbito nacional, isso está mudando. Com o advento da Quarta Revolução Industrial, também conhecida como a Indústria 4.0, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas e implementadas, criando diversas e inéditas oportunidades de negócios e otimização dos meios de construção. Nesse estudo foram selecionadas as principais “tecnologias 4.0”, algumas delas atualmente já em uso na cadeia produtiva da construção, e foi executada uma análise dos seus efeitos e atual implementação no Brasil. Através de um mapeamento bibliográfico e do levantamento de dados tanto de empresas quanto do governo, foram selecionadas as tecnologias mais relevantes e, com base em dados supracitados, analisada. De acordo com resultados obtidos e benefícios apresentados no presente trabalho, conclui-se que o setor da construção civil deve aproveitar essa oportunidade e se atualizar ao implementar os avanços da indústria 4.0 de maneira eficiente, principalmente notando que, embora muitas tecnologias ainda estejam em fase de desenvolvimento, existem algumas já prontas e atualmente sendo implementadas no Brasil.

Palavras-chave: Indústria 4.0, construção civil, BIM, impressora 3D, drone.

ABSTRACT

The civil construction sector in Brazil is, historically, very resistant to changes and afflicted with a low productivity rate. However, due to various recent innovations and paradigm shifts at the national level, this is changing. With the arrival of the Fourth Industrial Revolution, also known as the 4.0 Industry, new technologies are being developed and implemented, creating a multitude of opportunities, both for doing business and for the optimization of the means of production. In this study, the main "4.0 technologies" were selected and a study about their effects and actual implementation in Brazil was executed. After a bibliographical mapping and data collection, both from the private industry and government, the most relevant technologies were then analyzed using the aforesaid data. Therefore, as the results and benefits presented in this essay show, it's concluded that the civil construction sector must seize this opportunity and update itself by implementing the advances from the 4.0 Industry efficiently, especially seeing how, even if many of these technologies are still in the development phase, some are completed and are already being used in Brazil.

Keywords: 4.0 Industry, civil construction, BIM, 3D printer, drone

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico com base nas respostas da pesquisa feita pela CNI sobre o uso e relevância das tecnologias digitais nas empresas brasileiras (CNI, 2016).....	16
Figura 2 - Previsões dos impactos da implantação do sistema industrial 4.0. Fonte: autor.....	18
Figura 3 - Áreas de atuação das inovações, subdividida em tipos de tecnologias (BAUR e WEE, 2015).....	23
Figura 4 – Pesquisa do custo anual do atraso da produtividade do setor da produção se comparado ao global (HOUSTON , SHANGHAI , <i>et al.</i> , 2017).....	26
Figura 5 - Nível de digitalização dos setores da economia (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016)	28
Figura 6 - Ferramentas e softwares que têm sido desenvolvidos e como atuam na construção (BLANCO, MULLIN, <i>et al.</i> , 2017) `.....	29
Figura 7 - Rede bibliométrica criada pelo uso da palavra-chave “Automação” (PORTO e KADLEC, 2018).....	34
Figura 8 - Rede bibliométrica criada pelo uso da palavra-chave “Robótica” (PORTO e KADLEC, 2018).....	35
Figura 9 - Áreas de atuação da plataforma BIM (MARTINI, 2018)	37
Figura 10 - Representação do BIM 5D (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016)	38
Figura 11 – Similaridades das características da impressão 3D e do setor da construção (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).....	44
Figura 12 - Comparação entre o método construtivo convencional e a impressão 3D (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).....	45
Figura 13 - Comparação entre drones e aeronaves tripuladas e apresentação de diferentes modelos de drones (FEITAL, 2017).....	49
Figura 14 - Inspeção predial por termografia (FEITAL, 2017).....	51

Figura 15 - Foto tirada por um drone durante uma inspeção predial (ASSIS, DRUMOND, <i>et al.</i> , 2017).....	52
Figura 16 – Evolução dos métodos de levantamento de campo (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016)	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista das 10 tecnologias digitais e porcentagens de uso e relevância (CNI, 2016).....	14
Tabela 2 - Comparativo das Revoluções Industriais. Fonte: autor.....	31

SUMÁRIO

Agradecimentos	V
Resumo	I
Abstract.....	II
Lista de Figuras	III
Lista de Tabelas.....	V
Sumário	VI
1 Introdução	1
1.1 Objetivo	3
1.1.1 Objetivos Específicos.....	3
1.2 Estrutura do Texto	3
2 Revisão Bibliográfica.....	5
2.1 As revoluções industriais e seus impactos na construção civil.....	5
2.2 A Quarta Revolução Industrial: Indústria 4.0	7
2.2.1 Surgimento da Quarta Revolução Industrial.....	7
2.2.2 Conceitos	8
2.2.3 Os componentes-chave	9
2.2.4 Os requisitos	12
2.2.5 Estado da arte.....	13
2.2.6 Previsões dos impactos no Brasil	17
2.2.7 Desafios da implementação no Brasil	19
2.2.8 Tecnologias advindas da Quarta Revolução Industrial	22

2.2.9	Indústria 4.0 aplicada na Engenharia Civil	25
2.3	Comparativo Indústria 4.0 com as demais revoluções industriais	31
3	Metodologia.....	32
4	Resultados	34
4.1	Tecnologias selecionadas	34
4.2	Building Information Model	36
4.2.1	Efeitos na construção civil.....	37
4.2.2	Implementação.....	39
4.3	Impressão 3D em concreto.....	41
4.3.1	Efeitos na construção civil.....	42
4.3.2	Implementação.....	46
4.4	Drones	48
4.4.1	Efeitos na construção civil.....	50
4.4.2	Implementação.....	54
5	Conclusão	56
	Referências.....	58

1 INTRODUÇÃO

A construção civil, feita antigamente no Brasil, utilizava métodos construtivos artesanais. Houve avanços ao longo do tempo, porém a produção manual ainda é amplamente usada no país. Este tipo de produção tem como características, de maneira geral: desperdício de materiais, baixa produtividade, baixo controle de qualidade e a grande variabilidade do produto final (DEBS, 2000).

Com a industrialização, máquinas foram incorporadas no canteiro de obras, substituindo o homem nas operações mais pesadas, porém a execução permaneceu predominantemente artesanal e pouco foi adotado em relação a novas tecnologias na área da construção civil nas últimas duas décadas no Brasil (RIBEIRO e MICHALKA JR., 2003).

Isso ocorre devido a construção civil brasileira encontrar dificuldades na adoção e difusão de novas tecnologias, pelo seu caráter tradicionalista e muitas vezes resistente à abordagem (TOLEDO, ABREU e JUNGLES, 2000). Implementações de novas tecnologias enfrentam alguns obstáculos, pois a inserção no ambiente de trabalho tem de modificar a cultura empresarial, disponibilizar sucessivos treinamentos de equipes e integrar a cadeia de suprimentos (LIMA, SOUZA, *et al.*, 2018).

O PIB da indústria da construção civil brasileira é um dos principais fatores que influenciam o PIB nacional (SOUZA, OLIVEIRA, *et al.*, 2015). Nos últimos anos o desempenho da construção civil foi abaixo do esperado, a participação do setor no PIB caiu de 6,5%, em 2012, para 4,5% em 2018 (IBGE, 2018). Grande parte dessa queda de desempenho do setor é devido à crise econômica brasileira de 2014.

Em momentos de recessão novas soluções devem ser perseguidas a fim de alavancar a economia novamente. Para recuperar a competitividade é necessário que seja feita uma reavaliação das tecnologias disponíveis.

O cenário atual é oportuno, segundo (LIMA, SOUZA, *et al.*, 2018) estamos passando pela quarta revolução industrial, que se baseia na interação de processos entre máquinas. Essa interação é chamada de *Internet of Things* ou IoT, ela é uma

rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e aplicativos que se comunicam, ligando objetos físicos e virtuais, criando interações que possibilitam ações de comando e controle (FIRJAN, 2016).

As mudanças que a indústria mundial tem sofrido, devidas a revolução atual, caracterizou um novo modelo industrial, chamado de indústrias 4.0. Esse tipo de indústria é chamado de inteligente pois se baseia na informação digital, compartilhando dados entre seus componentes, para tomar a ação mais adequada automaticamente (FIRJAN, 2016). O sistema de funcionamento da indústria 4.0 é composto por uma infraestrutura tecnológica formada por sistemas físicos e virtuais, com apoio do Big Data, Analytics, robôs automatizados, simulações, manufatura avançada, realidade aumentada e a IOT, ainda de acordo com a (FIRJAN, 2016).

De acordo com (SILVA, 2018), a demanda das pessoas e do mercado estão maiores e mais exigentes, a indústria precisa ser mais ágil, eficiente e eficaz, diante disso foram criadas fábricas “inteligentes” que, através de tecnologias “inteligentes”, podem atender essa demanda com o custo baixo e maior rapidez.

Essas tecnologias têm diferentes finalidades, não só a produção é “inteligente”, a rede de abastecimento, o sistema de vendas, marketing, o produto final e até mesmo a manutenção pós-venda são “inteligentes”.

Essas redes “inteligentes” estão sendo implementadas na indústria da construção civil brasileira e ainda tem espaço para crescimento, visto que o setor enfrenta diferentes obstáculos para aumentar a produtividade. Além da produtividade o uso dela pode resultar na redução dos custos de mão de obra e do produto final (CBIC, 2016).

Com o grande potencial de aprimoramentos e crescimento da produtividade, fábricas terão uma produção mais otimizada e com menores desperdícios. Isso faz com que os empresários fiquem pressionados a repensarem suas estratégias com relação à utilização de novas tecnologias devido à concorrência (PEREIRA e SIMONETTO, 2018).

Como estamos no processo de industrialização 4.0, outras tecnologias baseadas na quarta revolução industrial estão em desenvolvimento. As existentes ainda estão em fase de implementação, não sendo tão difundidas. Esse estudo analisará algumas delas, seus efeitos e implementação na construção civil brasileira.

1.1 Objetivo

O objetivo principal desse estudo é analisar as novas tecnologias advindas da indústria 4.0 aplicada na construção civil. Serão expostos os efeitos que elas acarretarão para a cadeia produtiva da construção, bem como o andamento e aceitação no Brasil.

1.1.1 Objetivos Específicos

Entre os objetivos secundários os mais relevantes são:

- Contextualizar as revoluções industriais anteriores com a atual e seus efeitos na construção civil.
- Definir indústria 4.0 e suas inovações em outras áreas.

1.2 Estrutura do Texto

O presente estudo apresenta ao todo 5 capítulos, que estão distribuídos da seguinte forma:

Neste capítulo, o tema foi apresentado ao leitor, com uma rápida passagem histórica, caracterização do setor da indústria no Brasil e introdução do conceito de indústria 4.0. A justificativa do estudo foi feita mostrando alguns dados do problema a ser resolvido. O objetivo deste estudo foi traçado, assim como os secundários.

No segundo capítulo foi feito um estudo histórico das Revoluções Industriais anteriores, assim como o detalhamento da Quarta Revolução Industrial, explicitando seu surgimento, os componentes-chave, os requisitos, o estado da arte, as previsões

dos impactos no Brasil, as tecnologias criadas com a revolução e a sua aplicação na Engenharia Civil. Foi feito também um comparativo com as revoluções anteriores.

No terceiro capítulo foi apresentado o modo como foi feito o presente estudo.

No quarto capítulo as tecnologias mais relevantes foram selecionadas, que foram: a plataforma Building Information Model, a Impressão 3D em concreto e os Veículos Aéreos Não Tripulados (drones). Foram analisados seus efeitos na cadeia produtiva da construção e como estão as suas respectivas implementações no Brasil.

No quinto capítulo foram expostas a conclusão do estudo com base nas análises feitas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 As revoluções industriais e seus impactos na construção civil

O conceito de revolução é relacionado a ideia de aceleração no tempo, o caráter universal e de permanência, o surgimento do novo e do inédito e, conseqüentemente, a rejeição ao passado como valor para o presente (SILVA, 2015). Atribuindo esse conceito ao meio industrial, temos que as revoluções industriais são mudanças rápidas e radicais que elevam a indústria a um patamar de qualidade e produtividade que só seria possível com anos de desenvolvimento e pesquisa. Novas tecnologias e novos métodos de produção, advindos de revoluções, permanecem durante a sua época, substituindo os meios anteriores. (DATHEIN, 2003)

Na história da indústria ocorreram três revoluções industriais, tirando a que está em andamento. A Primeira Revolução Industrial, marcada pela invenção das máquinas movidas a vapor. A Segunda Revolução Industrial, que teve início com o uso prático da energia elétrica. Por fim, a Terceira Revolução Industrial, com o início da automação das máquinas.

A primeira revolução teve o início no século XVIII com a invenção dos motores a vapor, o carvão era a fonte de energia para a vaporização da água, portanto era a fonte de energia dos motores; tais motores viabilizaram a criação do tear mecânico, isso possibilitou a produção em massa de tecidos em indústrias, mudando o sistema de produção de manufatura para fabril (DATHEIN, 2003). Outra aplicação dos motores a vapor foi no transporte, com navios e locomotivas movidas a vapor, mudando completamente a capacidade de carga e velocidade dos meios de transporte (DATHEIN, 2003).

A área da construção civil também sofreu efeitos com a Primeira Revolução Industrial. Com o carvão como fonte de energia, o ferro começou a ser produzido em escala industrial, por meio de processos criados como o de pudragem, de laminação e o uso de jato de ar quente (DATHEIN, 2003). Com isso o ferro foi introduzido na construção civil. As melhorias nos transportes, por meio das estradas de ferro,

locomotivas e navios a vapor, impactaram a forma com que a matéria prima das construções chegava à obra, diminuindo os custos e o tempo de transporte.

No final do século XIX a Segunda Revolução Industrial teve início com o uso prático da energia elétrica e a invenção do motor a explosão (DATHEIN, 2003). O petróleo substituiu gradativamente o carvão como fonte de energia desse motor. Outras fontes de energia também começaram a ser exploradas, como a água e o urânio. O motor a explosão viabilizou o surgimento de meios de transporte mais ágeis e eficientes, isso contribuiu para que as estradas de ferro fossem o meio de transporte com o maior crescimento no período. O sistema de produção em massa foi inventado, especializando o trabalho e barateando os bens de consumo.

Na construção civil os avanços no período da Segunda Revolução Industrial foram, principalmente, na produção em escala do aço, no setor de transportes e na invenção do concreto armado. O crescimento das estradas de ferro viabilizou a expansão da indústria do aço. Em 1856, Henry Bessemer, desenvolveu uma técnica para converter, em escala industrial, ferro em aço. Essa técnica foi aperfeiçoada em 1878 por Thomas e Guilchrist, eles conseguiram diminuir os custos do processo, trazendo viabilidade econômica para o uso do aço na construção (DIAS, 2001). Assim como na Primeira Revolução Industrial, o desenvolvimento do setor de transportes, com o motor a combustão, atuou na diminuição dos custos e do tempo de transporte dos materiais de construção. Em 1849, o concreto armado foi descoberto por Joseph Louis Lambot (1814-1887), ele consiste na utilização conjunta do aço e concreto para a construção; o concreto com a função de resistir a compressão e o aço a tração, possibilitando, a construção de estruturas de concreto mais esbeltas e resistentes (CARVALHO, 2008).

Nos meados do século XX, se iniciou a Terceira Revolução Industrial. Ela é chamada de Revolução Informacional devido ao começo do uso da tecnologia e do sistema informático na produção industrial, sendo que os principais avanços foram: o desenvolvimento da computação e robótica, utilização de fontes de energia variadas e menos poluentes e a globalização (JÚNIOR, 2000). A utilização da robótica diminuiu os custos relacionados a mão de obra e potencializou a produtividade; o contínuo

avanço relacionado as fontes de energia baratearam o processo de produção; com a globalização, ocorreu uma integração social, econômica e política, no planeta, aumentando o avanço tecnológico, da produção e do consumo de bens (JÚNIOR, 2000).

Durante esse período, os principais avanços no setor da engenharia civil foram: a industrialização da produção dos materiais de construção e do processo construtivo, o emprego da computação e robótica no setor. Para diminuir os custos dos componentes fabricados, a produção nas fábricas também tem uma quantidade de resíduos mínima, uma vez que todo o processo de fabricação dos componentes é feito fora do canteiro de obras, em um ambiente adequado que possibilita um alto controle de qualidade do produto final, bem como baixa variabilidade, uma vez que são produzidos em larga escala, com linhas de produção organizadas e repetição das atividades (ACKER, 2002). O processo construtivo geralmente é complexo com vários detalhes, etapas e informações, sendo assim, um processo industrializado sempre foi um desafio; a industrialização se deu por meio do uso de maquinário e sistemas de produção em linha, em escala industrial; o sistema mais difundido é a filosofia LEAN aplicada na construção civil, chamada de LEAN Construction, que consiste em uma produção enxuta, reduzindo o desperdício, padronizando o processo e diminuindo o seu tempo de fabricação (PICCHI, 2003). O emprego da computação na construção resultou em uma maior base de dados para o controle da obra, assim como projetos mais precisos elaborados com ajuda de softwares. O papel da robótica esteve mais ligado a produção de materiais de construção em indústrias, ela possibilitou uma produção mais controlada segundo um fluxo e economia no custo de mão de obra.

2.2 A Quarta Revolução Industrial: Indústria 4.0

2.2.1 Surgimento da Quarta Revolução Industrial

A Indústria 4.0 é a única revolução industrial que foi prevista e planejada. Ela teve origem em 2011, na Alemanha, na Feira de Hannover. Esse conceito de indústria surgiu como um planejamento do governo alemão para desenvolvimento tecnológico da manufatura do país (FIRJAN, 2016).

Esse planejamento ocorreu devido a dificuldades que o setor industrial europeu passava durante as últimas décadas. No início da década de 70 com o desenvolvimento industrial acelerado dos Tigres Asiáticos, grande parte da produção de bens duráveis migrou dos países desenvolvidos para os países emergentes do oriente, gerando uma desindustrialização nos países europeus (FIRJAN, 2016). A Europa perdeu cerca de um terço de sua base industrial em 40 anos, segundo o Parlamento Europeu.

Tal migração ocorreu devido à diferença de custo de produção e de produtividade da mão de obra entre os países desenvolvidos e os Tigres Asiáticos. Afim de aumentar a produtividade da indústria alemã, o governo criou o projeto High Tech Strategy em 2006, que contava com investimentos pesados em inovação e tecnologia, com isso a indústria 4.0 foi criada anos depois (FIRJAN, 2016).

Após a iniciativa alemã, vários países criaram projetos semelhantes, com o propósito de implementar a indústria 4.0. Entre eles podemos citar os seguintes projetos: Advanced Manufacturing Partnership (USA), National Network for Manufacturing innovation (USA), Made in China 2025 (CHN), Factories From the Future (UE), Public-Private Partnership (UE) e The Industry of the Future (FRA); (FIRJAN, 2016). Com isso o conceito de Indústria 4.0 foi difundido mundialmente e sua implementação está em andamento em vários países.

2.2.2 Conceitos

Segundo a Chanceler da Alemanha Angela Merkel, “A Indústria 4.0 é a transformação completa de toda a esfera da produção industrial através da fusão da tecnologia digital e da internet com a indústria convencional.”.

Porém como é um tema recente e ainda em implantação é necessário analisar os conceitos dados por diferentes autores, seguem eles:

- A Indústria 4.0 é um plano de digitalização e automação do processo produtivo, e ainda de criação de cadeias digitais de valor que permitem a comunicação entre produtos, ambientes e parceiros comerciais (LASI, FETTKE, *et al.*, 2014).

- São características da Indústria 4.0 a digitalização, autonomização, transparência, disponibilidade de informação em tempo real e colaboração (PFOHL, YAHSI e KURNAZ, 2017).
- A Indústria 4.0 representa a futura Quarta Revolução Industrial em que humanos e robôs trabalharão cada vez mais próximos em fábricas inteligentes (WEISS, HUBER, *et al.*, 2016).
- Por meio dos avanços tecnológicos, a Indústria 4.0 combina o meio físico com o virtual, isso gera sistemas de produção inteligentes e automatizados, tendo assim um uso eficiente da informação (ZAWADZKI e ZYWICKY, 2016).

Pode-se observar analisando todos os conceitos apresentados que, de maneira geral, a Indústria 4.0 é entendida pela digitalização e automação dos processos de fabricação, ou seja, resulta na fusão do físico com o virtual. Com essa interação, ocorre a comunicação entre os processos em tempo real, gerando integração e controle da produção.

Esse modelo de indústria é o desenvolvimento da manufatura através da digitalização, que segue os seguintes fatores (BAUR e WEE, 2015):

- aumento do volume de dados, da capacidade computacional e da conectividade
- a capacidade da análise de dados por setores de inteligência
- as novas formas de interação entre o homem e a máquina
- a melhoria na transferência de comandos digitais para o meio físico

Ela indica o surgimento de novos produtos, serviços e modelo de negócios, e ainda maior eficácia operacional, produtividade, crescimento, e melhoria da competitividade (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013).

2.2.3 Os componentes-chave

Para a implantação da indústria 4.0 são necessários alguns elementos essenciais, tais como os Cyber Physical Systems, a Internet of Things, a Internet of Services, as

Fábricas Inteligentes. Outras tecnologias fazem parte do processo como a Big Data, o Cloud Computing, a Segurança Cibernética e o Machine Learning.

Os Cyber Physical Systems ou CPS são a integração do mundo virtual com o físico, através da computação, da internet, de redes e processos físicos. Os CPS são sistemas que possibilitam a troca de informações entre operações reais através de computadores embarcados e redes, gerando um controle dos processos físicos, comunicação automatizada e respostas instantâneas (FIRJAN, 2016). Eles possibilitam a obtenção de informações e mudança nos processos em todo o lugar e em tempo real, a ampla difusão e facilidade do acesso a rede de internet nas indústrias torna o CPS ainda mais viável (NUNEZ e BORSATO, 2015). Compõem os CPS: uma unidade de controle, que comanda os sensores e atuadores, tecnologias de identificação, mecanismos de armazenamento e análise de dados (FIRJAN, 2016).

Internet of Things ou IoT, pode ser traduzida como Internet das Coisas, é baseada na Tecnologia da Informação e Comunicação ou TIC, que por meio da internet, conecta máquinas e objetos com sensores inteligentes e softwares (SILVA, 2018). É a rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e aplicativos com tecnologia embarcada para comunicar, sentir ou interagir com ambientes internos e externos; ela possibilita que um grande volume de dados sejam gerados e processados com a interação entre o físico e o virtual, viabilizando melhores ações de comando e controle dos processos e objetos (FIRJAN, 2016). A internet das coisas é a base da Indústria 4.0.

Para suprir a necessidade de coletar, transmitir, processar e analisar os dados gerados pela IoT, o Big Data foi criado. Ele consiste em softwares e práticas que gerenciam e analisam grandes volumes de dados, de diferentes fontes, em alta velocidade (SILVA, 2018). Uma das formas de se atingir essa alta velocidade de processamento é com o uso da Inteligência Artificial ou IA, que reduz o tempo de processamento de tarefas através do machine learning, ou seja, através de processos anteriores feitos pela máquina, a mesma acumula dados e se baseia neles para otimizar os processos futuros (FIRJAN, 2016).

O Cloud Computing ou computação em nuvem é outro conceito da IoT. Ele se baseia em armazenar e processar dados na rede, não necessitando de um meio físico e podendo ser acessado de qualquer lugar do mundo em tempo real através da internet (SILVA, 2018).

Existem três tipos de aplicações da internet das coisas: a aplicação para o usuário final, quando a IoT é aplicada à tecnologias de uso consumidor; a aplicação em negócios e serviços, quando a IoT é usada para a criação de novos modelos de negócios e produtos-serviços; e a aplicação industrial, em que a tecnologia é invisível ao consumidor final (FIRJAN, 2016).

Esta última aplicação vem chamando atenção pela indústria 4.0, e as fábricas que adotam essa tecnologia estão sendo chamadas de Fábricas Inteligentes. Nelas os CPS são empregados nos sistemas produtivos gerando significativos ganhos de eficiência e recursos e diminuição nos custos relacionados a mão de obra, se comparado às fábricas tradicionais. Através da rede da IoT, máquinas e linhas de montagem se comunicam, trabalham em conjunto e se monitoram, independentemente do local, com informações trocadas instantaneamente (FIRJAN, 2016).

Internet of Services ou IoS, são serviços e processos criados quando a rede da IoT funciona perfeitamente, os dados processados e analisados em conjunto fornecerão um novo patamar de agregação de valor. Novos serviços serão criados ou existentes serão melhorados; os diversos fornecedores e canais de oferta produzirão uma nova dinâmica de distribuição e valor (FIRJAN, 2016). Quando os serviços são integrados, terão a utilização mais fácil e simples, já que a experiência como um todo se torna mais tangível, porém quando isolados, serão mais complexos e mais difíceis (FIRJAN, 2016). Presume-se que, com o desenvolvimento da Indústria 4.0 este conceito será expandido de apenas fábricas, englobando toda a sua rede de produção e consumo (FIRJAN, 2016).

Segurança Cibernética são meios de troca de dados cada vez mais confiáveis e sofisticados. Com a Indústria 4.0 a maior conectividade e a digitalização de dados

demandarão maiores proteções contra-ataques cibernéticos, impulsionando a invenção de novas tecnologias para este fim (PEREIRA e SIMONETTO, 2018).

2.2.4 Os requisitos

Para a implementação desse modelo foram identificados seis requisitos, que são: interoperabilidade, virtualização, descentralização dos controles dos processos produtivos, adaptação da produção em tempo real, orientação a serviços e produção mais bem adaptada à variação da demanda (HERMANN, PENTEK e OTTO, 2015).

O conceito de interoperabilidade é a capacidade de trabalho em conjunto e comunicação do sistema. Aplicada na indústria 4.0, a interoperabilidade permite que os CPS de uma indústria, mesmo que de fornecedores diferentes, sejam capazes de interagir através da IoT (LIMA, SOUZA, *et al.*, 2018) (FIRJAN, 2016).

A virtualização no ambiente industrial pode ser definida por modelos virtuais e simulações, que representam comportamentos reais no ambiente virtual (FIRJAN, 2016). Esses modelos são obtidos através de dados coletados por diversos sensores ao longo de toda a cadeia produtiva, possibilitando o monitoramento remoto (LIMA, SOUZA, *et al.*, 2018).

Outro requisito é a descentralização dos controles dos processos produtivos. Com o acesso remoto a dados da produção, as tomadas de decisões podem ser feitas por mais de um profissional ou até por um CPS em conjunto com a IoT, que controla a produção em tempo real, através de parâmetros pré-definidos e variáveis coletadas (LIMA, SOUZA, *et al.*, 2018) (FIRJAN, 2016).

A adaptação da produção é um requisito essencial para a indústria 4.0. Com a coleta de dados realizada automaticamente, eles serão analisados em tempo real, seja por um gestor ou de maneira automatizada, sendo tomadas as decisões imediatamente, seja para alterar a produção ou transferi-la, de acordo com o cenário (LIMA, SOUZA, *et al.*, 2018) (FIRJAN, 2016).

A orientação a serviços ocorre em conjunto com a IoS, em que informações e serviços são disponibilizados em rede aberta, possibilitando a customização da

produção e maior flexibilidade de adaptação de acordo com as especificações dos clientes (FIRJAN, 2016).

O último requisito é o Sistema Modular. A implantação desse conceito gera um ganho de flexibilidade e adaptabilidade, lidando com o problema de variação na demanda e acoplamento e/ou desacoplamento de módulos na produção (HENRIQUES e MIGUEL, 2017).

2.2.5 Estado da arte

Em sua maioria, a indústria brasileira está inserida no modo de produção da Segunda e Terceira Revoluções Industriais, isto é, utilizam linhas de montagem e automação (FIRJAN, 2016).

O Brasil ocupa a 58ª posição em uma lista de 144 países no quesito inovação, segundo o Relatório de Competitividade Global do Fórum Econômico Mundial. Este quesito está relacionado à capacidade que um país tem em absorver novas tecnologias. Apesar da posição mediana, o Brasil encontra-se a frente de países como México, Rússia e China (SCHWAB, 2018). Segundo o Índice Global de Inovação, realizado em 2018, o Brasil ocupa a 64ª posição no ranking das economias com maiores capacidades e sucesso de inovação (DUTTA, LANVIN e WUNSCH-VINCENT, 2018).

No Brasil, as fábricas que trouxeram equipamentos e conceitos de Revolução 4.0 estão sendo pioneiras. No setor automotivo houve uma grande mobilização pelo desenvolvimento da tecnologia de produção, visto que é o setor mais avançado no assunto (FIRJAN, 2016).

Exemplos desse avanço são as fábricas da Fiat em Betim e da Mercedes-Benz, que contam com tecnologias como: exoesqueletos, realidade virtual, robôs colaborativos e aprendizagem de máquina em suas plantas. Com isso a Mercedes-Benz teve ganhos de 15% de produtividade, 20% em eficiência logística e uma redução de estocagem de componentes de 10 dias para 3 dias (FIRJAN, 2019).

Muitas dessas tecnologias têm sido preparadas por algum tempo, algumas não estão prontas para utilização em escala. Porém algumas estão prontas com confiabilidade e baixo custo, elas estão começando a serem viáveis para aplicação industrial. Entretanto as companhias não estão alertas para as novas tecnologias, em uma pesquisa feita em Janeiro de 2015, de 300 líderes de manufaturas somente 48% se consideravam prontos para a Indústria 4.0, e 78% dos fornecedores se consideravam prontos (BAUR e WEE, 2015).

Com as recentes oportunidades, empresas de desenvolvimento de tecnologias estão fazendo pesquisas sobre a aceitação do novo modelo industrial. A Pesquisa de Digitalização Tendências e Soluções para um Brasil mais Competitivo da Siemens, entrevistou 250 CEOs, CIOs, engenheiros e especialistas das maiores empresas do Brasil, segundo ela 85% concordam que a digitalização vai incentivar o aumento da competitividade e 52% identificam a falta de oferta de investimentos focados na implementação das tecnologias da indústria 4.0 como a principal barreira a superar (FIRJAN, 2016).

Outra pesquisa, sobre o nível de conhecimento da indústria brasileira sobre tecnologias digitais e a sua incorporação à produção, foi realizada pela CNI em janeiro de 2016, ela englobou 2.225 empresas de 29 Setores da Indústria de Transformação e Extrativa, sendo elas: 910 pequeno, 815 médio e 500 de grande porte. Ela revelou que esse tipo de tecnologia é pouco difundida, sendo que: 42% das empresas desconhecem a importância desse tipo de tecnologia e 52% delas não utilizam nenhuma tecnologia de uma lista com 10 itens (CNI, 2016).

A tabela abaixo apresenta as 10 tecnologias da pesquisa, a porcentagem de uso e a porcentagem de quais tecnologias as empresas consideraram relevantes.

Tabela 1 - Lista das 10 tecnologias digitais e porcentagens de uso e relevância (CNI, 2016)

Tecnologias digitais	Uso (%)	Relevância (%)
Automação digital sem sensores	11	3

Automação digital com sensores para controle de processo	27	20
Monitoramento e controle da produção com sistemas do tipo MES e SCADA	7	14
Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis	8	21
Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento de produtos e manufatura de produtos	19	25
Manufatura aditiva, prototipagem rápida ou impressão 3D	5	9
Simulações/análises de modelos virtuais (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.) para projeto e comissionamento	5	5
Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data)	9	15
Utilização de serviços em nuvem associados ao produto	6	11
Incorporação de serviços digitais nos produtos ("Internet das Coisas" ou Product Service Systems)	4	12
Projetos de manufatura por computador CAD/CAM	30	9
Nenhuma das listadas	15	3
Não sabe/não respondeu	31	39

Uma parcela de 25% do total de empresas não respondeu a pesquisa e 6% não souberam responder, isso revela um alto nível de desconhecimento do assunto. As empresas que responderam que não utilizam nenhuma das tecnologias listadas somam 15% e as que utilizam apenas projetos de manufatura por computador CAD/CAM representam 6%. O gráfico abaixo mostra esse comportamento:

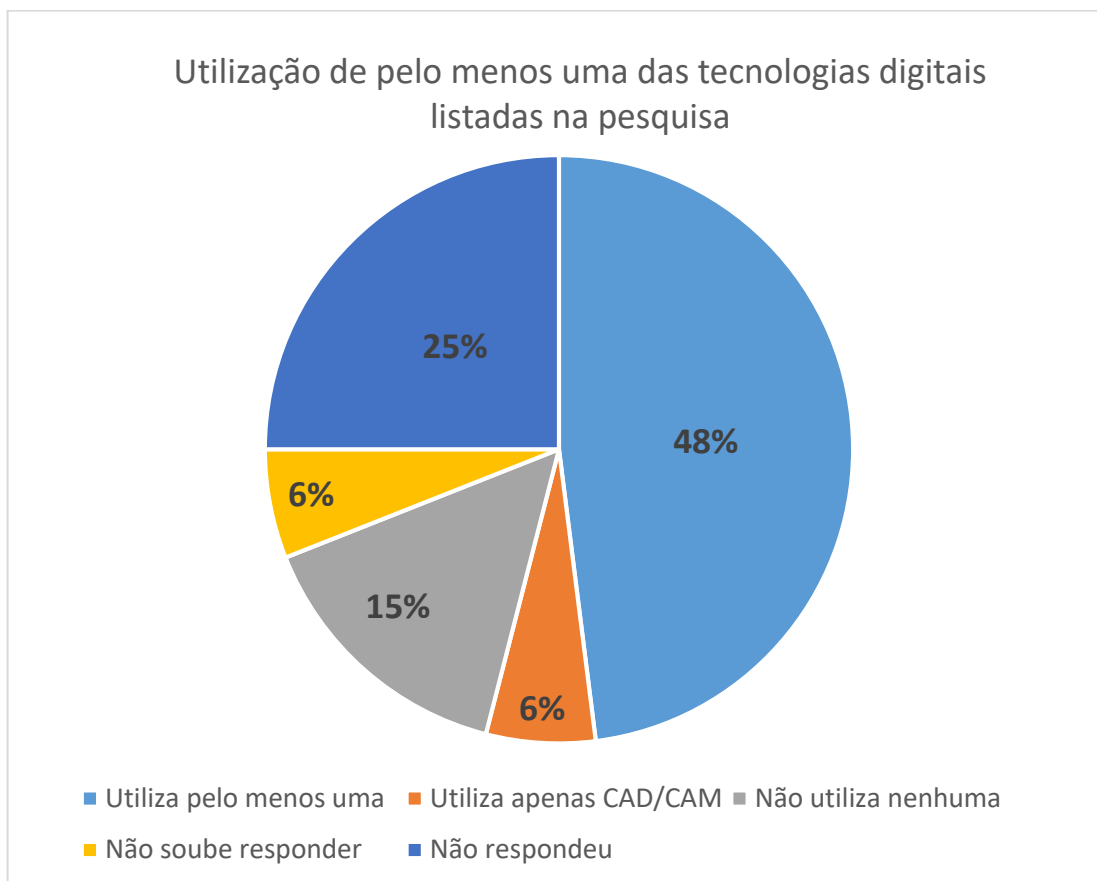


Figura 1 - Gráfico com base nas respostas da pesquisa feita pela CNI sobre o uso e relevância das tecnologias digitais nas empresas brasileiras (CNI, 2016)

A parcela de 52% das empresas que não utilizam, não sabe ou não respondeu é significativa, revelando um atraso no setor, porém um alto potencial de crescimento.

Com relação aos setores, a pesquisa revelou que há uma grande disparidade. A tabela abaixo mostra os setores da indústria que mais utilizam essa tecnologia e os que estão mais atrasados no assunto:

Tabela 2 - Uso de pelo menos uma das tecnologias digitais listadas na pesquisa por setor da indústria (CNI, 2016)

Setor	%
Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e outros	61
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	60

Derivados do petróleo e biocombustíveis	53
Máquinas e equipamentos	53
Metalurgia	51
Calçados	29
Vestuário	29
Minerais não metálicos	28
Produtos farmacêuticos	27
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	25
Outros equipamentos de transporte	23

Os setores com maior uso de tecnologias digitais são: os de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e outros (61%); máquinas, aparelhos e materiais elétricos (60%); derivados de petróleo e biocombustíveis (53%), máquinas e equipamentos (53%) e metalurgia (51%). Porém, com quase metade da porcentagem de utilização estão os setores de: calçados (29%), vestuário (29%), minerais não metálicos (28%), produtos farmacêuticos (27%), manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos (25%); equipamentos de transporte (23%) (CBIC, 2016).

2.2.6 Previsões dos impactos no Brasil

A indústria mundial está passando por grandes mudanças com a revolução 4.0. Para acompanhar o ritmo do desenvolvimento tecnológico e reafirmar a importância do processo, são feitas previsões acerca dos impactos em assuntos como eficiência do trabalho, receita bruta, consumo de energia, investimento em equipamentos e postos de trabalho, como mostra a figura abaixo:

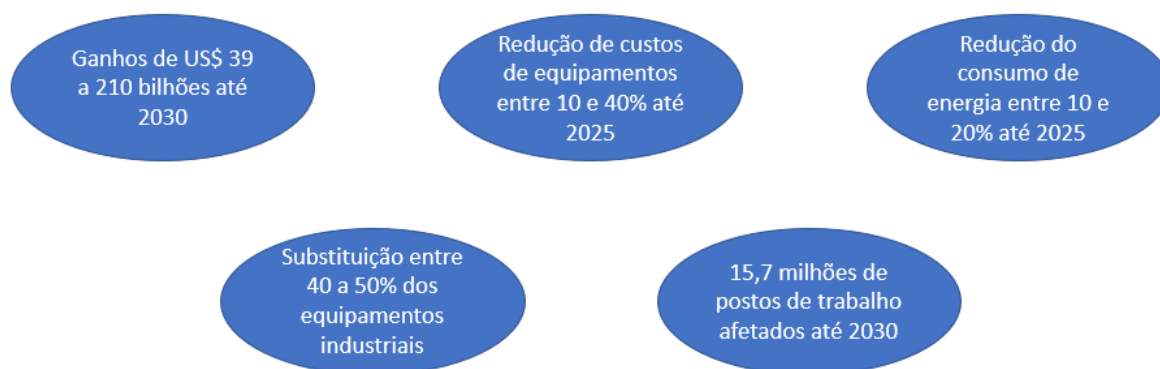


Figura 2 - Previsões dos impactos da implantação do sistema industrial 4.0.

Fonte: autor

Segundo um estudo feito pela Accenture, é previsto que a aplicação das tecnologias ligadas à Internet das Coisas deverá impactar em um acréscimo no PIB brasileiro em aproximadamente US\$ 39 bilhões até 2030. Caso o país desenvolva a infraestrutura necessária para o avanço das tecnologias, assim como programas de difusão tecnológica e aperfeiçoamento regulatório, o ganho pode chegar a US\$ 210 bilhões (CNI, 2016).

Segundo a empresa de consultoria americana McKinsey, a implantação da Indústria 4.0 afetará os custos de manutenção de equipamentos e o consumo de energia, até 2025 esses indicadores reduzirão entre 10 e 40% e entre 10 e 25%, respectivamente (CNI, 2016).

As mudanças causadas por essa revolução vão alcançar toda a cadeia produtiva. Entretanto não se espera mudanças tão drásticas se comparado com as revoluções nas décadas de 80 e 90. A chegada da energia a vapor e a ascensão da robótica resultou em um substituição de 80 a 90% do equipamento industrial, nos anos que virão estima-se que 40 a 50% dos equipamentos precisarão de serem substituídos ou melhorados (BAUR e WEE, 2015).

Com a presente revolução, a mão de obra fabril vai sofrer uma drástica mudança: a diminuição dos trabalhos repetitivos, que requerem baixo nível de treinamento, e o aumento dos trabalhos especializados, que requerem mais treinamento. Estima-se que 15,7 milhões de postos de trabalho sejam afetados até 2030, sendo assim pela

alta demanda e falta de trabalhadores qualificados, a mão de obra especializada será um grave problema a se enfrentar (FIRJAN, 2019).

Além das previsões quantitativas descritas acima, outros impactos que a presente revolução trará para o Brasil foram previstos, eles exigirão um novo conceito de política industrial (CNI, 2016). Entre esses impactos podem ser destacados: a diminuição das vantagens corporativas ilícitas, devido ao aumento de produtividade, mudando fatores determinantes de localização de investimentos produtivos; o aumento da integração na cooperação de agentes econômicos; o aumento da competitividade, incluindo empresas e fornecedores; a criação de novos modelos de negócio e de inserção no mercado; a ampliação da escala dos negócios; e a demanda de novas profissões, que exigirão treinamento especializado (CNI, 2016).

2.2.7 Desafios da implementação no Brasil

O Brasil precisa iniciar a implementação do modelo industrial 4.0 rapidamente, com o objetivo de reduzir a diferença de produtividade em relação a outros países, assim melhorar a sua competitividade e sua participação no mercado internacional, sendo assim esse desafio é também uma grande oportunidade. Essa diferença só tende a crescer, uma vez que outros países já possuem políticas sólidas para o desenvolvimento 4.0 da indústria, esses esforços estão no centro de suas estratégias de política industrial (CNI, 2016) (FIRJAN, 2019).

Os principais desafios citados por empresas e órgãos governamentais, podem ser divididos em 3 áreas: industriais, infraestrutura e políticas governamentais.

As medidas que a indústria brasileira precisa tomar para seguir o modelo industrial 4.0 são:

1. A adoção de processos produtivos enxutos

Uma vez que os processos produtivos são racionalizados, é possível ter uma manufatura enxuta, com eficiência energética e redução de desperdícios. Ao enxugar e organizar os processos, o conhecimento de como ocorre a produção aumenta, sendo possível retirada de processos desnecessários, racionalização de materiais e

mão de obra, e posteriormente melhorias no processo, como a digitalização (FIRJAN, 2019).

2. O treinamento de trabalhadores e gestores

As indústrias devem investir no pessoal responsável pela produção, visto que o sistema mudará com a revolução 4.0. Devem ser feitas parcerias com instituições acadêmicas e de pesquisa, visto que há uma distância entre o conhecimento teórico dos centros de ensino e o prático das indústrias, formando e treinando mão de obra qualificada e especializada, focada na operação, manutenção e implantação de tecnologias digitais inovadoras. Os principais assuntos abordados devem ser: técnicas de programação, análise de dados e resolução de problemas complexos, assim como habilidades criativas, empreendedoras, comunicativas e de liderança (FIRJAN, 2016) (FIRJAN, 2019).

3. Reunir empresários e gestores da indústria com visão, arrojo e postura proativa

Um esforço conjunto que procura viabilizar o desenvolvimento tecnológico em indústrias é mais eficaz que iniciativas isoladas. Parcerias para desenvolvimento de produtos e inovações devem ser feitas (FIRJAN, 2016).

4. A implantação da Indústria 4.0 deve começar por tecnologias já disponíveis e de baixo custo

O principal objetivo no começo da implantação desse modelo industrial é adquirir dados e conhecimento sobre o processo de produção. Já existem tecnologias com custos acessíveis disponíveis no mercado, como as baseadas em sensores, internet das coisas, big data, computação em nuvem e inteligência artificial. Após o monitoramento e obtenção de dados é possível a implantação das demais tecnologias inovadoras (FIRJAN, 2019).

5. O aumento do investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação

Visto a possibilidade de melhorias e crescimento que estão surgindo com o conceito de Indústria 4.0 e a gama de inovações na iminência de serem criadas, as empresas que mais investirem em desenvolvimento de produtos e implementação de tecnologias serão mais competitivas, tendo vantagem no mercado. Uma possibilidade

de investimento é em startups focadas em desenvolvimento de tecnologia, o trabalho delas aliado aos recursos e meios de produção das indústrias impulsionaria o setor de inovação (FIRJAN, 2019).

Para o desenvolvimento tecnológico da manufatura avançada é necessário a criação de políticas governamentais estratégicas inteligentes, incentivos e fomentos (FIRJAN, 2016). Alguns dos principais desafios relacionados a políticas governamentais são:

1. A criação de um programa brasileiro de desenvolvimento da manufatura avançada

É necessário o governo formalizar um projeto de desenvolvimento, definindo uma agenda de discussões e objetivos, nomeando os responsáveis e representantes, criando uma estrutura de governança que envolve diferentes setores. Esse projeto deve aproveitar as pesquisas e experiências de outros países com o assunto, como os projetos feitos na Alemanha, EUA e Japão. Com o planejamento estabelecido é possível começar o trabalho de implementação do conceito industrial 4.0, que deve ter como foco as empresas, apoiadas por centros de pesquisa (ABDI, 2017).

2. Um acordo bilateral entre o programa proposto de desenvolvimento da manufatura avançada brasileiro e o programa alemão Industrie 4.0

Uma maneira de facilitar o processo de implementação, é aproveitar a experiência de países mais avançados no assunto, de modo a evitar erros, diminuir o tempo e otimizar a inserção da Indústria 4.0. Com um acordo bilateral com a Alemanha, que é o país precursor no assunto, o Brasil conseguiria buscar o engajamento de empresas e órgãos alemães. A troca de conhecimento pode ser negociada por meio de empresas que possuem unidades em ambos os países, fazendo uma troca de pessoal. Além disso, outras medidas seriam benéficas ao desenvolvimento tecnológico brasileiro, como um apoio técnico Alemão a ser contratado para consultoria e a participação em feiras de conhecimento (ABDI, 2017).

3. O alinhamento e alocação de recursos

Superar a ausência de oferta de financiamentos adequados é uma barreira a se superar (FIRJAN, 2016). Para o desenvolvimento de pesquisas e produtos, é necessário um investimento do governo, promovendo crédito e recursos para os projetos. Além de projetos de pesquisa, a construção de testbeds também necessita de um programa de fomento próprio (ABDI, 2017).

4. Engajamento de pequenas e médias empresas

Como as pequenas e médias empresas representam uma parte considerável da produção e têm dificuldades para o desenvolvimento tecnológico, se comparado as grandes empresas, é necessário criar programas para incentivar a adoção e disseminar conceitos do modelo industrial 4.0 e facilitar o uso de testbeds por essas empresas (ABDI, 2017).

Infraestrutura governamental

1. Realizar melhorias na infraestrutura de telecomunicações (FIRJAN, 2019)
2. Criação de uma rede de testbeds de manufatura avançada

Para garantir a eficácia e prevenir falhas, ambientes para testes e demonstrações de novas tecnologias devem ser criados, eles são chamados de testbeds. Por meio de simulações da realidade do ambiente de produção, são identificadas e corrigidas as falhas, quando o produto está em condições de uso são feitas demonstrações nos testbeds para clientes. O uso de testbeds por centros de pesquisa e empresas aconteceria mediante a contratos com o governo (ABDI, 2017).

2.2.8 Tecnologias advindas da Quarta Revolução Industrial

A chamada Revolução 4.0, que acontece mundialmente, tem como característica a disseminação de novas tecnologias no mercado, como a inteligência artificial, robótica, internet das coisas, veículos autônomos, impressão em 3D, nanotecnologia, biotecnologia, armazenamento de energia e computação quântica (SCHWAB, 2016).



Figura 3 - Áreas de atuação das inovações, subdividida em tipos de tecnologias (BAUR e WEE, 2015)

A figura acima ajuda a entender quais são os melhoramentos disponíveis, nas áreas em que a Indústria 4.0 tem efeito.

Na área de gestão de ativos, que ajuda na utilização e manutenção de equipamentos, está disponível tecnologias como: a flexibilidade de rotas, que é a habilidade de mais de uma máquina realizar o mesmo processo, possibilitando a fabricação do produto por diferentes rotas; a flexibilidade da máquina que é a habilidade criar diferentes tipos de produtos pela mesma máquina, mudando a forma

de como é operada; o monitoramento e controle remotos, esse tipo de tecnologia possibilita a obtenção de dados em tempo real da produção e do equipamento, permitindo mudanças remotas no processo produtivo; a manutenção preditiva, que através de sensores e monitoramento é possível prever algum problema e/ou a vida útil da peça e realizar as ações antes de ocorrer; a realidade aumentada que consegue disponibilizar todas as informações relevantes de uma máquina por meio de conteúdos virtuais.

Na área de gestão do trabalho, pode-se citar os seguintes tipos de tecnologias como: a colaboração homem-máquina que será aprimorada possibilitando mudanças na produção, otimizando e controlando o trabalho; o monitoramento e controle remotos, que coleta dados da rotina de trabalho e analisa remotamente; o gerenciamento de performance digital, que pela análise os dados coletados e otimiza o trabalho; a automação do trabalho de conhecimento, o trabalho que exige um nível de estudo mais elevado, como o de engenheiros, gerentes e empresários também serão afetados, tendo apoio de softwares e análise de dados no dia a dia.

Outra área otimizada pela indústria 4.0 é a de estocagem de materiais, nela pode-se citar tecnologias como: a impressora 3D in-situ, que possibilita a impressão de uma grande variedade de produtos, sem uso de moldes físicos, flexibilizando a produção e diminuindo os estoques; a otimização da cadeia de suprimentos em tempo real, por meio da coleta de dados em tempo real, é possível otimizar o tempo de estocagem e o fornecimento de matérias-primas; o batch size, que está relacionado ao machine learning e os exemplos de processos já realizados que serão base de iterações para a resolução automática de um novo problema, aumentando a eficiência dos estoques.

A qualidade da produção também sofrerá mudanças, advindas de inovações baseadas em: controle de processamento estatístico, que é um método de prevenção e detecção de defeitos e problemas; controle de processos avançados, que são tecnologias de controle de processos industriais; gerenciamento da qualidade digital conforme as empresas digitalizam os seus processos, surge a necessidade de programas de qualidade focados no assunto.

A questão do controle do fornecimento, baseado na demanda vai ser afetada por tecnologias como: projetos focados no valor orientado por dados, permitem a empresa a obtenção automática de indicadores focados no valor de seus produtos; e previsão da demanda orientada por dados, com base nos dados coletados do mercado e da empresa, é feita uma previsão automática das vendas.

O tempo para se comercializar o produto ou serviço será afetado pelas seguintes tecnologias: experimentação e simulação rápidas, esses tipos de processo, quando automatizados possibilitam sua previsão, sendo assim também cria a possibilidade de otimização; engenharia simultânea, que é o desenvolvimento integrado e paralelo do projeto de um produto e os processos relacionados, incluindo manufatura e suporte; e inovação aberta, que são ideias, pensamentos, processos e pesquisas abertos, contando com o apoio intelectual de startups e universidades que aceleram o processo de criação de novas tecnologias.

A área de serviços e pós-venda será impactada por tecnologias como: manutenção preditiva, que através de dados coletados remotamente, lida com a manutenção pós-venda antes de ocorrer o problema; manutenção remota, que atualiza, monitora e conserta problemas virtuais; e autoatendimento virtualmente guiado, que através da inteligência artificial e machine learning, softwares realizam o atendimento do cliente.

Por último a área de utilização de recursos, nela os principais tipos de tecnologia são: o consumo de energia inteligente, que é o monitoramento do consumo de energia através da IoT, revelando desperdícios e otimizando o consumo; os lotes inteligentes, que têm um acompanhamento em tempo real da estocagem de materiais, possibilitando a otimização do espaço e o rastreamento de materiais; e a otimização de rendimento em tempo real.

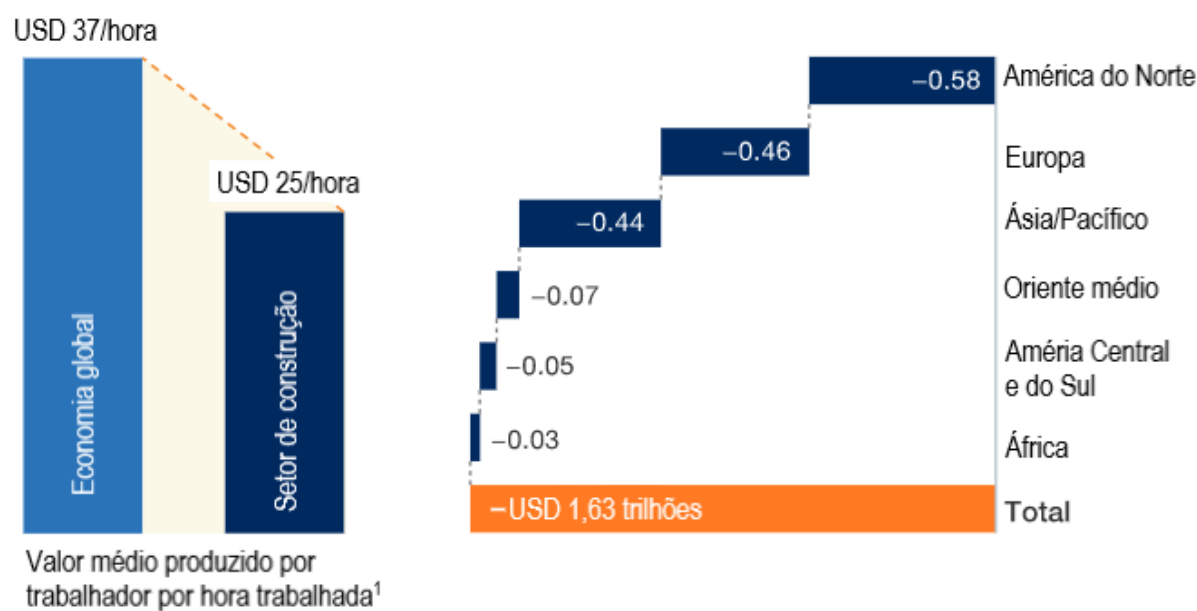
2.2.9 Indústria 4.0 aplicada na Engenharia Civil

A indústria da construção emprega aproximadamente 7% da população mundial em idade de trabalho, ela movimenta USD 10 trilhões em bens relacionados a

construção por ano, porém ela tem um problema histórico de produtividade, nas últimas 2 décadas ela cresceu apenas 1% ao ano, enquanto a produtividade global e das manufaturas cresceram 2,8% e 3,6%, respectivamente (HOUSTON , SHANGHAI , *et al.*, 2017). Os gráficos abaixo ilustram essa diferença de produtividade e a perda que ela gera.

Diferença de produtividade:
USD 1,63 trilhões

Valor econômico perdido como resultado da diferença² por região, em trilhões USD



¹Dados de 2015 em dólares correntes.

²Pressupõe que a produtividade da produção alcança a produtividade da economia total e os atuais trabalhadores são reempregados na total taxa de produtividade econômica

Figura 4 – Pesquisa do custo anual do atraso da produtividade do setor da produção se comparado ao global (HOUSTON , SHANGHAI , *et al.*, 2017)

Pode-se observar que se o setor da construção, que tem a produtividade de 25 dólares americanos por trabalhador por hora, equiparar a produtividade com o resto da economia global, de produtividade 37 dólares americanos por trabalhador por hora, geraria um ganho de aproximadamente USD 1,63 trilhões, isso equivale a aproximadamente 2% da economia global (HOUSTON , SHANGHAI , *et al.*, 2017). Além dessa perda, a diferença de produtividade também gera acréscimos de tempo no cronograma e de custos no orçamento.

Entretanto existem duas grandes áreas no setor da construção, a construção pesada, como de infraestrutura e industrial, e a construção residencial, que pode ser subdividida em empresas que produzem várias unidades e pequenas empresas. O setor de construção pesada tem a produtividade de 20 a 40% maior que o de construção residencial (HOUSTON , SHANGHAI , *et al.*, 2017).

Com a Quarta Revolução Industrial a integração e a digitalização são o centro das pesquisas de novas tecnologias. Elas oferecem benefícios a empresas, sejam elas de grande até de pequeno porte, entre eles os principais são a redução de falhas, o aumento de eficiência e de produtividade (PORTUGAL, 2016).

A elevação no custo da mão de obra, ocasionada pelo crescimento desordenado do mercado imobiliário, também contribui para a busca de novas tecnologias focadas na melhoria da produtividade (CBIC, 2016). Isso acontece, pois, uma das razões para o aumento da produtividade é a racionalização da mão de obra.

Com a digitalização o armazenamento de informações sai do meio físico e vai pro digital, com compartilhamento de informações em tempo real, garantindo transparência, integração, avaliação de progresso e risco e controle de qualidade. Com isso se consegue melhores e mais confiáveis resultados, permitindo uma melhora em um dos maiores problemas do setor da construção: a produtividade (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).

Sendo assim o nível de digitalização é um indicador atual da produtividade de uma empresa, pode-se observar na figura abaixo, que é baseada em uma pesquisa sobre o nível de digitalização nos setores da economia, que o setor de construção faz pouca utilização das tecnologias digitais, ocupando somente a penúltima posição em uma lista com 22 setores.

Digitalização relativamente baixa  Digitalização relativamente alta

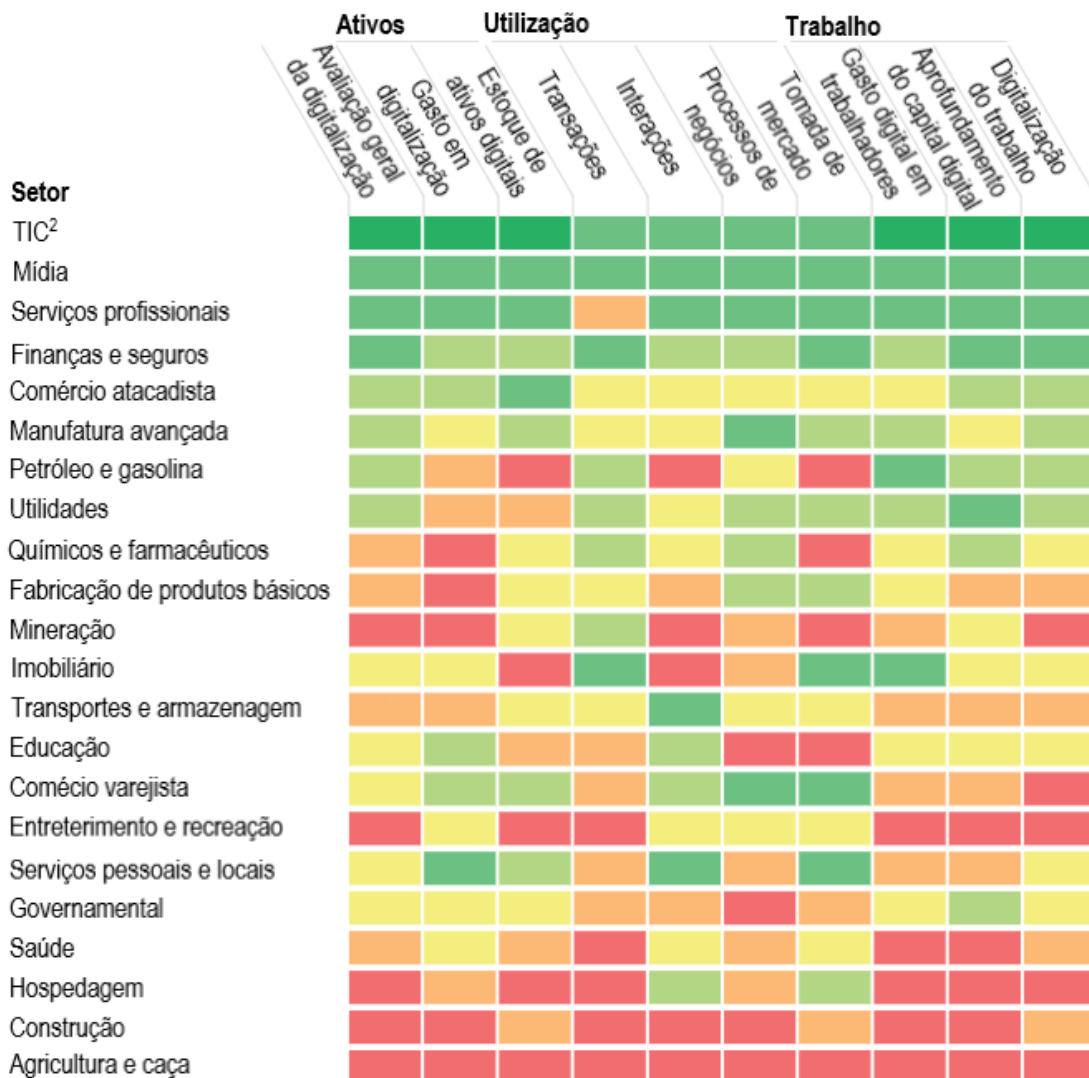


Figura 5 - Nível de digitalização dos setores da economia (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016)

Pode-se observar que o setor da construção tem problemas e é lento para incorporar novas tecnologias. A indústria ainda não adotou novas tecnologias digitais que necessitam de investimento inicial, mesmo que os benefícios de longo prazo sejam significativos. Os gastos com pesquisa e desenvolvimento em construção estão bem atrás dos de outros setores: menos de 1% da receita, comparado a 3,5% a 4,5% dos setores automotivo e aeroespacial. Os investimentos em tecnologia da informação

também estão aquém do ideal, correspondem por menos de 1% das receitas de construção, embora várias novas soluções de software tenham sido desenvolvidas para o setor (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).

Para otimizar a produtividade na construção, muitas companhias estão incorporando novas tecnologias na sua rotina diária, a maioria delas são de startups de desenvolvimento de tecnologias. Elas criam inovações focadas na otimização de todo processo produtivo na construção, desde o projeto até o pós-obra. A figura abaixo mostra algumas áreas que as startups desenvolvem suas ferramentas e softwares.

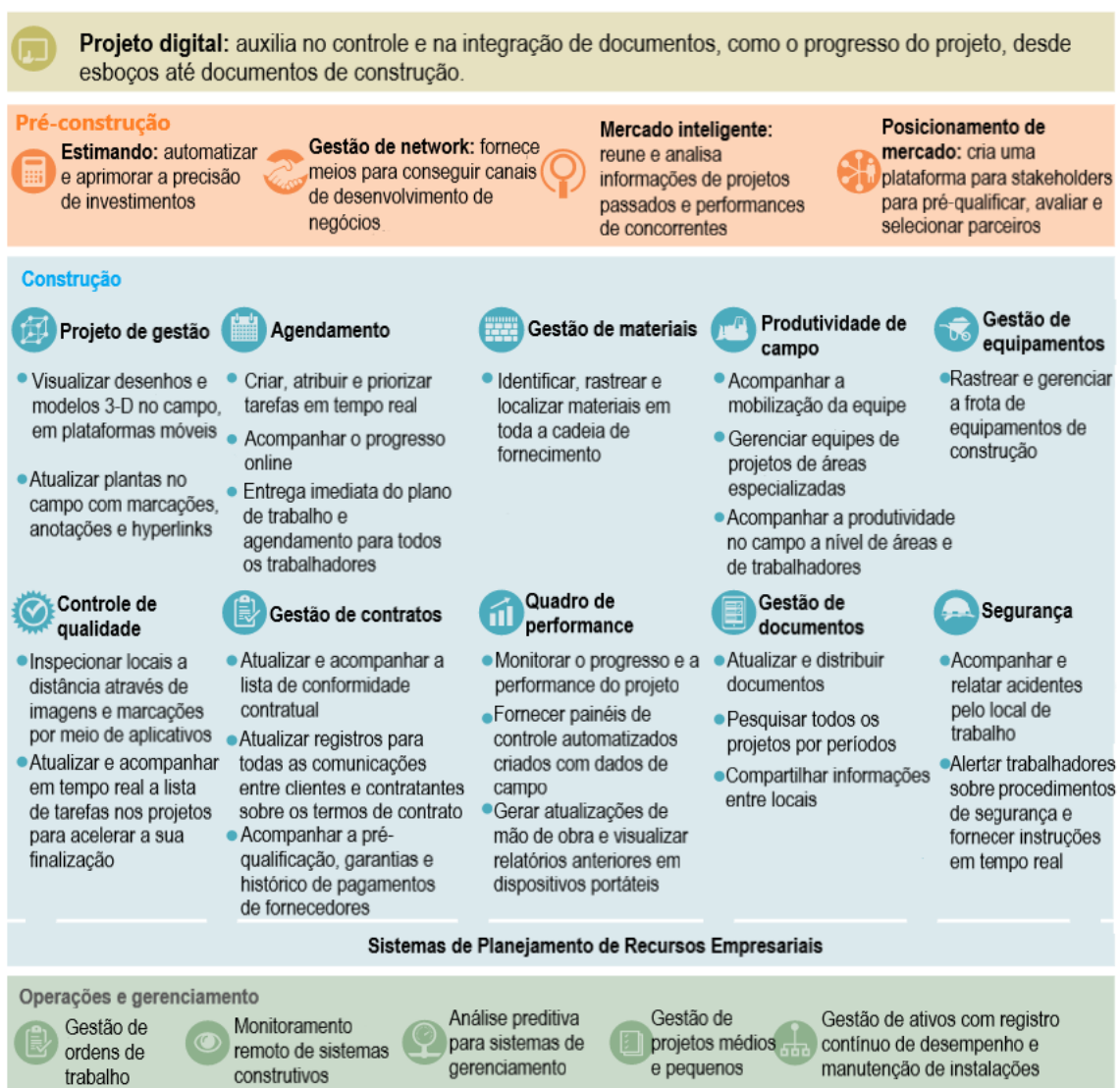


Figura 6 - Ferramentas e softwares que têm sido desenvolvidos e como atuam na construção (BLANCO, MULLIN, et al., 2017)

Empresas estão começando a implementar soluções de colaboração digital e mobilidade de campo. Por exemplo, já está sendo desenvolvido um software de uma plataforma móvel de supervisão de campo baseada em nuvem que integra planejamento de projeto, engenharia, controle físico, orçamento e gerenciamento de documentos para grandes projetos (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).

Entre os principais tipos de softwares, pode-se citar: os de modelagem 3D; automação de cronogramas; gerenciamento de materiais através da automação e robotização de estoques, almoxarifados e canteiros de obra; acompanhamento de produtividade em tempo real; gerenciamento de equipamentos; controle de qualidade com inspeção remota; o gerenciamento de contratos e documentos; o monitoramento, através de dashboards automatizados, do progresso e da performance de atividades e etapas construtivas; no acompanhamento da saúde e segurança dos trabalhadores, acompanhando e reportando incidentes em tempo real e alertando trabalhadores sobre procedimentos de segurança (PORTO e KADLEC, 2018).

Segundo a pesquisa, a maioria das tecnologias que estão sendo desenvolvidas são focadas na fase de construção, com aproximadamente 1000 companhias oferecendo esse tipo de produto e menos de 200 para projetos, pré-construção ou operações e gerenciamento (BLANCO, MULLIN, *et al.*, 2017).

Dentre os softwares desenvolvidos recentemente, os que têm mais aceitação no mercado são os que utilizam a plataforma BIM (Building Information Modeling). Essa é uma plataforma que integra os projetos de uma construção, como por exemplo o estrutural, hidrossanitário, arquitetônico e elétrico, aumentando a precisão e produtividade da obra (SILVA, 2018).

Novas tecnologias que incorporam os conceitos da Revolução 4.0, além dos softwares, estão sendo implementadas, como: as impressoras 3D; drones e veículos aéreos não tripulados para levantamento de campo; tablets para controle e acompanhamento da obra em tempo real; medidores que transformam as medições em plantas e maquetes 3D; e equipamentos robotizados (SILVA, 2018).

2.3 Comparativo Indústria 4.0 com as demais revoluções industriais

Em relação às três revoluções anteriores, pode-se dizer que a Quarta Revolução é mais veloz, ampla e profunda na fusão de tecnologias e na interação entre os meios físico, digital e biológico (PORTO e KADLEC, 2018).

A presente revolução foi induzida e planejada através de um esforço conjunto de agências governamentais, indústria e do meio científico, principalmente por parte da Alemanha e Estados Unidos. Essa é uma característica única que a diferencia das anteriores, que ocorreram devido a descobertas e do contexto histórico (REIS, HEIDRICH e FACÓ, 2017).

Segue abaixo um comparativo feito com base na presente revisão bibliográfica:

Tabela 2 - Comparativo das Revoluções Industriais. Fonte: autor.

Revolução	Período	País pioneiro	Características	Principais tecnologias	Impactos na Eng. Civil
Primeira	1760 / meados do séc. XIX	Inglaterra	Utilização da energia a vapor, o carvão era usado como fonte principal de energia	Tear mecânico e máquina a vapor	Otimização do transporte e difusão do uso do ferro
Segunda	Final do séc. XIX / meados do séc. XX	Estados Unidos da América	Uso prático da energia elétrica, produção em massa e o petróleo era usado como principal fonte de energia para o maquinário	Motor a explosão e lâmpada de filamento.	Otimização do transporte, difusão do uso do aço e surgimento do concreto armado
Terceira	Década de 1950 / década de 1970	Estados Unidos da América	Uso da informática, automação dos processos e início do uso de fontes de energia sustentáveis	Computadores, robôs e internet	Industrialização da produção de materiais de construção e do processo produtivo
Quarta	2011 / atualmente	Alemanha	Digitalização e comunicação dos processos, cooperação homem-máquina racionalização da produção	CPS, IoT, IA, Big Data e fábricas inteligentes	Aumento da digitalização e integração de dados, melhora do controle e da execução da obra

3 METODOLOGIA

Para o presente estudo foram tomados como fonte dados estatísticos disponibilizados por governos e empresas, análises relevantes em biografia consagrada como em artigos, teses e dissertações e associações profissionais.

As tecnologias foram selecionadas com base no trabalho de conclusão de curso de Gabriele Porto e Thalita Kadlec. O trabalho “Mapeamento de estudos prospectivos de tecnologias na Revolução 4.0: um olhar para a indústria da construção civil” feito em 2018, através de pesquisa, armazenamento, processamento e análise de dados bibliográficos, identificou os estudos de tecnologias prospectivas que estão sendo desenvolvidas para a indústria da construção civil, dentro do cenário de um aquecimento tecnológico fomentado pela quarta revolução industrial (PORTO e KADLEC, 2018). Além da análise dos estudos, relatórios de empresas de consultoria e órgãos governamentais sobre tendências e o estado da implementação de inovações foram usados para a seleção.

Com base na bibliografia citada, as tecnologias de maior relevância foram selecionadas. Foram um total de 3 tecnologias estudadas a fundo, não sendo maior a fim de obter mais foco.

Foi exposto o funcionamento das inovações e como elas estão ligadas à indústria 4.0. Com base em dados disponibilizados pelas empresas desenvolvedoras e em estudos de casos de aplicação, foram feitas as caracterizações do produto e demonstrações dos efeitos na construção civil.

Serão abordados os diversos temas em que a indústria 4.0 impacta na construção civil como: orçamento, padronização da construção, planejamento, racionalização da produção, mão de obra, cronograma e custos.

O estudo também se estende as áreas da cadeia produtiva da construção que, além da construção, é formada pelos setores de materiais, serviços e industrial.

Como a revolução da indústria 4.0 ainda está ocorrendo, os dados buscados são recentes e muitas das tecnologias ainda estão em desenvolvimento. A maioria dos

dados terá como base previsões e pesquisas de mercado, não sendo totalmente precisos.

Com as análises feitas e previsões de outros autores, será feito um possível panorama da indústria da construção civil brasileira, assim como os possíveis problemas que podem ser solucionados.

Além disso, foi apresentado um embasamento teórico sobre indústria 4.0 e uma contextualização histórica.

A empresa de consultoria McKinsey&Company, também listou as tecnologias que estão tendo mais visibilidade no momento. Entre elas pode-se destacar: a geolocalização e levantamento de campo em alta definição, feito por drones e veículos aéreos não tripulados; a nova geração da plataforma building information modeling, BIM 5D; as tecnologias de mobilidade digital, como softwares utilizados em dispositivos móveis; a IoT interligando os softwares com o meio físico e compartilhando atualizações, comandos e dados em tempo real; as estruturas pré-fabricadas em uma linha de construção modular; a impressora 3D; construções montadas por robôs (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).

Sendo assim neste trabalho serão estudadas, devido a sua importância e visibilidade, as seguintes tecnologias: a plataforma BIM, a impressora 3D, a Internet das Coisas aplicada na engenharia civil, construção modular e softwares de gerenciamento.

4.2 Building Information Model

Para a realização de uma obra são necessários vários projetos como: arquitetônico, elétrico, estrutural, hidrossanitário, geotécnico, de fundação, de instalações contra pânico e incêndio, entre outros mais específicos. Os projetos eram desenvolvidos em programas e plataformas diferentes, em muitos casos isso gera incompatibilidade em projetos, erros na execução e perda de produtividade. Para solucionar esse problema foi criada a plataforma BIM, que são um conjunto de programas que adotam a extensão IFC para se tornarem compatíveis. Ela segue o princípio de interoperabilidade da Indústria 4.0, com a digitalização e integração de dados, uma vez que um projeto feito em um determinado programa poderá ser aberto em outro.

Segundo o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, BIM é o conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a troca de dados entre softwares e a criação, utilização e atualização de modelos digitais de uma construção, de modo

colaborativo, servindo a todos os participantes do empreendimento, durante todo o ciclo de vida da construção (CE-BIM, 2018).

4.2.1 Efeitos na construção civil

Através da plataforma BIM é possível analisar em três dimensões todos os aspectos de uma construção, como por exemplo: a geometria da estrutura, o tipo de material, a eficiência térmica e acústica, o desempenho energético, a estética, detalhes de instalações, segurança, manutenção e a vida útil da obra (LIMA, SOUZA, *et al.*, 2018). Ela integra todas as fases da construção, desde o planejamento, projeto, construção, operação, até a manutenção (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).

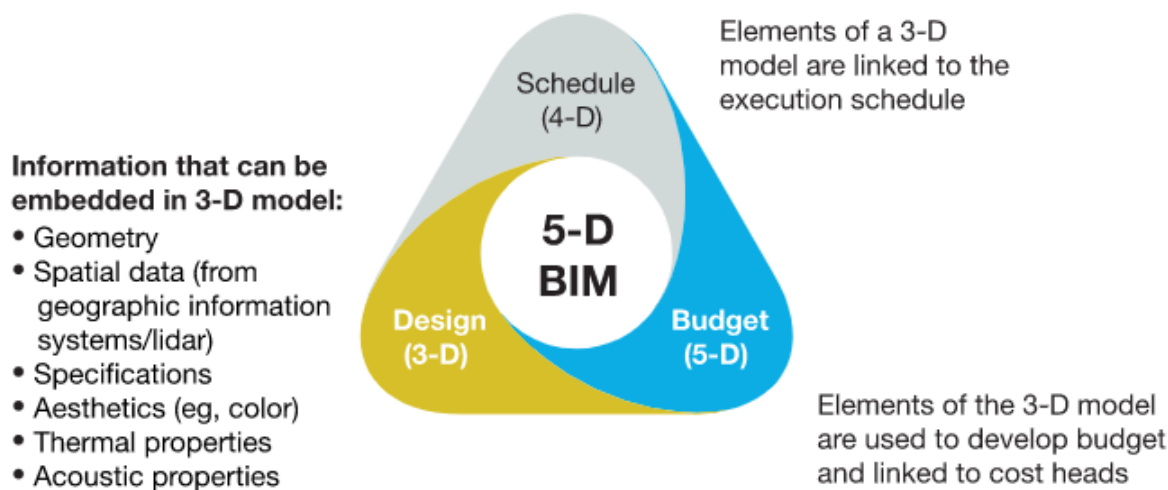


Figura 9 - Áreas de atuação da plataforma BIM (MARTINI, 2018)

A nova versão da plataforma BIM, permite a representação da construção em cinco dimensões. Isso é dito devido as funções de orçamento e cronograma adicionadas nessa versão, que somadas a análise 3D, dão o novo nome: 5D BIM.

Esse tipo de análise possibilita uma melhor visualização do projeto e dos impactos que mudanças no mesmo acarretarão, visto que o custo de cada material, o andamento da obra e a previsão do fim de cada etapa pode ser acompanhado em três dimensões (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).

Building information modeling (BIM) is a digital representation of the physical and functional characteristics of a project, forming a reliable basis for decisions during the project's life cycle.



McKinsey&Company

Figura 10 - Representação do BIM 5D (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016)

A compatibilidade entre os projetos e a troca de dados sem perda ou distorção de da informação são as principais características da plataforma. O engenheiro responsável por um projeto deve trocar informações e analisar se o projeto que está fazendo não apresenta problemas de incompatibilidade com outros, sendo assim uma plataforma em comum entre os programas permite identificar esse tipo de falha ainda na fase de planejamento (LIMA, SOUZA, *et al.*, 2018). Pode-se citar por exemplo, uma possível falha na compatibilização dos projetos estrutural e hidrossanitário, isso pode ocasionar uma passagem não prevista de tubulação em uma viga ou um reposicionamento da tubulação, causando retrabalho e custo adicional.

A facilidade de exportação de arquivos de um programa para outro, dada pela compatibilidade e a troca de dados provenientes da plataforma, torna possível fazer mudanças, acompanhar e atualizar os projetos em tempo real, otimizando o tempo.

Com o uso da plataforma, além da redução de erros de compatibilidade e otimização de prazos, é proporcionado maior confiabilidade dos projetos, processos mais precisos de planejamento e controle de obras, aumento de produtividade, economia dos recursos utilizados nas obras e diminuição de custos e riscos (CE-BIM, 2018).

O governo também se beneficia com a adoção da plataforma, obras governamentais raramente cumprem os prazos, geralmente carecem de confiabilidade nas estimativas de custos e deixam a desejar na transparência de seus processos e custos, com a adoção da plataforma as ocorrências desses problemas tendem a diminuir, visto que o cronograma e o orçamento estarão totalmente integrados aos projetos e os dados estarão em uma plataforma de fácil acesso (CE-BIM, 2018). A vida útil das obras públicas pode ser aumentada pela melhoria da eficiência na gestão e manutenção. Ao se observar esses fatos o governo criou um plano para a implantação do BIM, como pode-se ver no próximo tópico.

4.2.2 Implementação

A plataforma BIM é uma das tecnologias com maior potencial de crescimento atualmente, visto que parte das empresas já adotou a plataforma e comprovou as suas vantagens. Dentre as empresas do setor da construção, 9,2% já implementaram a tecnologia BIM, estas empresas correspondem a 5% do PIB da construção civil (CE-BIM, 2018).

O Governo brasileiro desenvolveu em 2018 a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM, ou . A iniciativa analisou as vantagens que a plataforma traz, como o barateamento das compras públicas e transparência nos processos licitatórios, além da oportunidade de crescimento do setor da construção, com isso ela

buscou incentivar a adoção da plataforma através da Estratégia BIM BR. O governo espera atingir os seguintes resultados (CE-BIM, 2018):

1. Assegurar ganhos de produtividade ao setor de construção civil;
2. Proporcionar ganhos de qualidade nas obras públicas;
3. Aumentar a acurácia no planejamento de execução de obras proporcionando maior confiabilidade de cronogramas e orçamentação;
4. Contribuir com ganhos em sustentabilidade por meio da redução de resíduos sólidos da construção civil;
5. Reduzir prazos para conclusão de obras;
6. Contribuir com a melhoria da transparência nos processos licitatórios;
7. Reduzir necessidade de aditivos contratuais de alteração do projeto, de elevação de valor e de prorrogação de prazo de conclusão e de entrega da obra;
8. Elevar o nível de qualificação profissional na atividade produtiva;
9. Estimular a redução de custos existentes no ciclo de vida dos empreendimentos.

Para alcançar os resultados citados, a Estratégia BIM BR criou nove objetivos, seguem eles (CE-BIM, 2018):

1. Difundir o BIM e seus benefícios
2. Coordenar a estruturação do setor público para a adoção do BIM
3. Criar condições favoráveis para o investimento, público e privado, em BIM
4. Estimular a capacitação em BIM
5. Propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e contratações públicas com o uso do BIM
6. Desenvolver normas técnicas, guias e protocolos específicos para a adoção do BIM
7. Desenvolver a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM
8. Estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM

9. Incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM

Um dos principais objetivos citados é o de número 5, propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e contratações públicas com o uso do BIM, o poder público planeja utilizar o seu poder de compra para implementar a plataforma no mercado. Esse plano será dividido em três etapas, a primeira começará em 2021 e exigirá o uso do BIM em projetos de obras públicas. A segunda etapa começará em 2024 e, além de projetos, exigirá a utilização da plataforma para a realização do orçamento, do planejamento da execução de obras e da atualização do modelo e de suas informações como construído (“as built”). A terceira e última etapa iniciará em 2028 e exigirá o uso do BIM em todo o ciclo de vida da obra, do planejamento a manutenção (CE-BIM, 2018).

As metas que a Estratégia BIM BR planeja alcançar são (CE-BIM, 2018):

1. Aumentar a produtividade das empresas em 10% (produção por trabalhador das empresas que adotarem o BIM);
2. Reduzir custos em 9,7% (custos de produção das empresas que adotarem o BIM);
3. Aumentar em 10 vezes a adoção do BIM (hoje 5% do PIB da Construção Civil adota o BIM, a meta é que 50% do PIB da Construção Civil adote o BIM);
4. Elevar em 28,9% o PIB da Construção Civil (com a adoção do BIM, o PIB do setor, ao invés de 2,0% ao ano, espera-se que cresça 2,6% entre 2018 e 2028, ou seja, terá aumentado 28,9% no período, atingindo um patamar de produção inédito).

4.3 Impressão 3D em concreto

O termo impressão 3D se refere a produção de objetos físicos camada por camada por uma máquina automatizada, tal máquina é guiada por modelos 3D que dão quase que uma liberdade de criação ilimitada (LAUBIER, WUNDER, *et al.*, 2018).

Esse tipo de produção se chama Manufatura Aditiva e, como já foi visto, é um meio de produção que a Quarta Revolução Industrial proporcionou. As primeiras impressoras 3D fabricavam apenas peças de pequeno porte, logo depois foram utilizadas para a criação de modelos 3D, que representavam obras e projetos. Estas foram as primeiras utilidades que a impressão 3D teve na construção.

De acordo com o modelo, a impressora pode utilizar metais derretidos, materiais em pó, líquidos ou semilíquidos como matéria-prima. No caso da área da construção é utilizado o concreto, material semilíquido. Foi preciso mais tempo para desenvolver uma impressora capaz de utilizar o concreto como matéria-prima em grandes peças, posteriormente foi capaz até da construção de casas de pequeno porte.

A impressão 3D em concreto pode ocorrer no local da construção ou em ambientes controlados fabricando peça por peça, a diferença é o nível de controle do processo. O processo feito na área de construção está sujeito a uma série de variáveis, porém não necessita de montagem. O de ambientes controlados é utilizado um processo fabril, tendo o controle dos materiais, da temperatura e da umidade, tudo isso em uma linha de produção contínua.

4.3.1 Efeitos na construção civil

Experts em impressão 3D identificaram maneiras que ela beneficia ou poderá beneficiar o setor de construção, são elas (LAUBIER, WUNDER, *et al.*, 2018):

- Liberdade de design: as formas quase ilimitadas que o modelo virtual 3D oferece a impressão, diminuem o custo de peças não padronizadas, dando liberdade criativa a arquitetos e designers. Essa tecnologia pode construir projetos complexos que estão além da capacidade dos métodos construtivos tradicionais.
- Construção autônoma: um dos problemas da construção é a falta de mão-de-obra qualificada, porém a construção autônoma pode mudar isso. Com ela é necessário o mínimo de trabalho humano.

- Substituição de equipamentos convencionais: as impressoras 3D são mais leves e móveis se comparadas aos equipamentos convencionais como guas, possibilitando o acesso a áreas perigosas e de acesso remoto. O alto custo da impressora é compensado pela redução dos gastos com equipamentos, que em uma construção gira em torno de 20% a 25% do total da obra.
- Previsibilidade e velocidade de entrega: operando 24 horas por dia, 7 dias por semana e reduzindo as falhas de execução, impressoras 3D podem reduzir drasticamente o tempo de construção.
- Redução de custos: o processo de impressão 3D necessita do mínimo de mão-de-obra, racionaliza o uso da matéria-prima e diminui os gastos com equipamentos, sendo assim promove uma drástica redução de custos.
- Sustentabilidade: a matéria-prima é rigorosamente controlada, racionalizando o seu uso. Segundo especialistas até 50% da matéria-prima utilizada na impressora 3D pode ser material reciclado. Além disso, a possibilidade de produção de peças complexas, diminui o consumo de materiais, uma vez que dispensa o gasto extra de material para unidades estruturais separadas.
- Propriedades especiais: através do uso de estruturas cônicas, ocas e alveolares, impressoras 3D podem agregar a seus produtos maior tração ou isolamento térmico apropriado, por exemplo. Tudo isso sem aumentar o peso da estrutura.
- Execução detalhada e precisa: como já foi visto a plataforma BIM tem um grande potencial de crescimento, com ela é possível a criação de projetos detalhados e precisos, isso cria uma demanda para métodos de execução também detalhados e precisos, sendo a impressão 3D uma solução.

Os benefícios citados, suprem recentes demandas da construção, como mostra a figura abaixo:

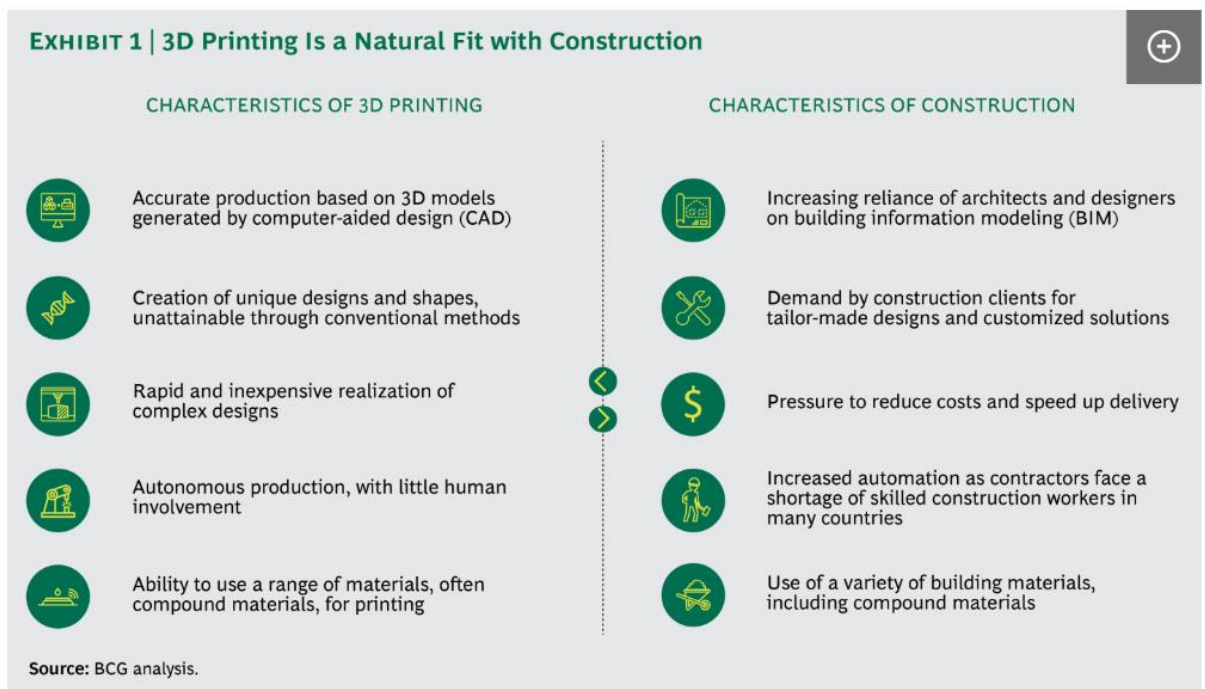


Figura 11 – Similaridades das características da impressão 3D e do setor da construção (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016)

Com as recentes inovações as demandas do mercado consumidor mudam, os métodos de construção devem acompanhar essas mudanças, apesar da grande dificuldade do setor de se adaptar.

Ao se comparar a impressão 3D com a convencional, é possível observar uma redução de custos significativa, devido a racionalização do uso de materiais e redução da mão-de-obra. Outros fatores como maior previsibilidade, menor riscos de acidentes e diminuição do impacto ambiental devem ser citados. Porém as desvantagens na comparação são o treinamento necessário para arquitetos e engenheiros utilizarem a nova tecnologia, unidade de mão-de-obra mais cara, alto custo das impressoras 3D e a necessidade de movimentação da impressora. A figura abaixo ilustra essa comparação:

EXHIBIT 3 | 3D Printing in Construction Offers Many Advantages



	3D-printed vs. conventional construction	
Costs	Labor	Overall savings as 3D design becomes easier and as onsite workforce is reduced
	• Architects, designers, engineers	Need for training to adapt to the new technology, methods, and possibilities
	• Installation	Printers' ability to work autonomously, so less supervision is needed, but initial training is required
	Equipment	High cost of 3D printers currently, but reduced need for heavy construction machinery
	Materials	Expensive specialty concrete mixes and materials, but fewer materials are needed and far less waste is generated
	Logistics	Need for transporting printer to the site, offset by reduced use of other machines
Non-cost factors	Delivery	Printers' ability to operate 24/7; avoidance of delays related to deliveries and coordination
	Environmental impact	Avoidance of waste and reduced need for materials
	Project risk	Technology risks (e.g., interruptions) but fewer hitches related to workforce, delivery, and coordination
	Accidents and safety hazards	Fewer accidents, thanks to autonomous construction process with little human involvement
	Quality issues	Increased accuracy of 3D-printed construction and enhanced appearance as the technology progresses

Significantly lower
 Slightly lower
 Equal
 Slightly higher

Sources: Expert interviews; BCG analysis.
Note: The comparison assumes that 3D-printing technology has reached maturity and is included in building codes and regulations; accordingly, approval and testing costs are not included.

Figura 12 - Comparação entre o método construtivo convencional e a impressão 3D (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016)

A comparação se mostra favorável a utilização da impressora 3D, porém ela foi feita com base na hipótese de que esta tecnologia esteja pronta para uso em larga escala, o que não condiz com a realidade.

A impressão 3D afeta todas as áreas da cadeia produtiva da construção civil, desde fornecedores de materiais de construção até o consumidor final.

Os fornecedores de materiais de construção desenvolveram aditivos para a impressão 3D. Algumas startups estão desenvolvendo novos traços baseados em cimento Portland. Com isso grandes empresas de materiais de construção devem tomar medidas para continuar a frente no mercado, tais como: aprimorar suas formulações, criar redes locais para atrair empresas de impressão 3D e fazer parcerias com os fornecedores das impressoras. Por outro lado, outros fornecedores de

materiais como os que fornecem materiais de isolamento, drywall e revestimentos, terão suas demandas prejudicadas pela concorrência com o método construtivo de impressão 3D

Os empreiteiros estão superando o ceticismo, visto que grandes empresas progressistas estão implementando a impressão 3D em seus processos construtivos, elas estão adquirindo habilidades e capacidades especializadas em robótica, programação, design e ciência dos materiais. Isso incentiva outros empreiteiros a comprar equipamento relevante, ou a subcontratar serviços de impressão 3D. Uma vez que o empreiteiro implementar a impressão 3D, ele pode combiná-la com os pré-fabricados e construção tradicional para criar o método mais apropriado a situação da obra.

O governo pode criar regras e normas para a utilização da impressão 3D, incentivar o desenvolvimento da tecnologia, materiais e testes. Além disso o governo pode criar demanda, através da exigência do uso da impressão 3D em seus projetos próprios como programas de construção residencial e saneamento básico.

Os fornecedores de equipamentos relacionados a impressão 3D podem lucrar vendendo o know-how e treinamento para a mão-de-obra, softwares e materiais especiais para a produção e fornecendo a manutenção. Isso representa uma grande oportunidade de crescimento na área. Por outro lado, os fornecedores de outros equipamentos de construção serão prejudicados devido a concorrência e o potencial de crescimento que a impressão 3D representa.

4.3.2 Implementação

A impressão de módulos ou estruturas completas de concreto antes da montagem, pode transformar a indústria em custo, tempo e projetos. Entretanto ela ainda está em desenvolvimento e não pode ser utilizada em grande escala e com alta produtividade em grandes projetos (LAUBIER, WUNDER, *et al.*, 2018).

Grandes projetos como os de infraestrutura e projetos industriais, a impressão 3D ainda não pode competir com o pré-fabricado, em preço e resistência estrutural. Para

obras que envolvem encanamento e sistemas de esgoto ela está praticamente pronta (LAUBIER, WUNDER, *et al.*, 2018).

A produção em impressão 3D até agora, foi em grande parte em pequena escala e volume. Até o começo de 2018, menos de 40 demonstrações de projetos de larga escala foram realizados no mundo, somando uma receita de USD 100 milhões, valor pequeno se comparado a receita anual da indústria da construção civil, que é de aproximadamente USD 10 trilhões (LAUBIER, WUNDER, *et al.*, 2018).

O principal uso da impressão 3D até agora é a construção vertical de pequena escala, tanto comercial quanto residencial, para prédios comerciais de larga escala a impressão pode se tornar viável em breve, aumentando a demanda e diminuindo os custos, estima-se que em cinco a dez anos surgirão uma série de negócios na área (LAUBIER, WUNDER, *et al.*, 2018).

O desenvolvimento da impressão 3D aplicada na engenharia civil está no estágio final. A mídia está otimista, matérias estão sendo publicadas no meio científico, jornalístico e empresarial, sobre a iminência da adoção dessa nova tecnologia. Porém o entusiasmo da mídia se deve mais ao potencial, do que as conquistas da impressão 3D.

No Brasil a impressão 3D é usada somente para modelos arquitetônicos e estruturais. O seu uso para construir peças e módulos ainda é embrionário, foram encontrados poucos estudos sobre o assunto, entretanto startups estão desenvolvendo tecnologia nacional na área de moradias populares. A Inovahouse3D é a primeira startup da América Latina a estudar a aplicação da impressora 3D no setor da construção, ela foi criada em 2015 por estudantes da Universidade de Brasília e é focada no desenvolvimento da tecnologia para construção de moradias de baixo custo, sendo que em 2019 a primeira casa será construída pela startup (INOVAHOUSE3D, 2019). Outra startup da área é a Urban 3D que também foca na resolução do problema da falta de moradias para a população de baixa renda através da impressão 3D, a proposta da empresa é de vender a tecnologia a construtoras e governo.

A impressão 3D para a produção de modelos das obras vem sendo bastante difundida no Brasil, entretanto a fabricação de protótipos em concreto para testes na construção deve ser mais explorada (PORTO, 2016).

Desde dez anos atrás, pesquisadores estão refinando técnicas de impressão 3D aplicada na construção. Empresas começaram a investir nos estudos, desde as de construção até as de fabricação de materiais, visto o enorme potencial que essa tecnologia tem. Muito se espera da impressão 3D, porém muitas questões precisam ser resolvidas, como: quão preparado o mercado realmente está; quão pronta está a indústria para a implementação, em vez de resistência à força criativa e disruptiva desse processo construtivo; quão pronta a tecnologia está realmente; e como as empresas devem aproveitar a tecnologia e se adaptar a ela (LAUBIER, WUNDER, *et al.*, 2018).

4.4 Drones

Os drones ou VANTs (Veículos Aéreos não tripulados) são termos associados a aeronaves não tripuladas. Eles foram desenvolvidos para fins militares pelos Estados Unidos, durante a Primeira Guerra Mundial, o potencial da sua utilização foi sendo estudado e foram descobertas aplicações nas mais variadas áreas, desde recreação a levantamento de imagens (MELO, 2015).



Figura 13 - Comparação entre drones e aeronaves tripuladas e apresentação de diferentes modelos de drones (FEITAL, 2017).

Esse tipo de equipamento dá mobilidade devido ao seu tamanho pequeno e a possibilidade de ser controlado a distância, sendo assim como ele é leve e pequeno consome pouca energia e os custos são reduzidos devido a não necessitar de mão-de-obra embarcada. Outras vantagens do drone é a sua facilidade de operação, sendo mais simples que outros tipos de aeronaves, ele é mais seguro, pois possibilita operações em locais de risco sem colocar vidas em perigo, ele tem baixo custo e pode ser controlado por computadores, operando de maneira autônoma (MELO, 2015).

Entretanto esse tipo de equipamento também tem suas desvantagens, tais como: tempo de voo e capacidade de carga bem limitadas, de acordo com o modelo; mudanças meteorológicas podem atrapalhar o uso, como chuva forte; exige um piloto com experiência; e o seu uso é limitado; e regulado pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) (MELO, 2015).

As aplicações técnicas se devem a possibilidade do drone de acoplar dispositivos como câmeras, sensores de infravermelho, sensores térmicos, radares, lasers, GPS, entre outros. A capacidade de carga dos drones variam de acordo com o seu modelo, existindo modelos que suportam desde 2 kg até 500 kg.

4.4.1 Efeitos na construção civil

O acompanhamento e inspeção da obra, antes feitos pessoalmente agora é feito através de dispositivos acoplados no drone. Com isso ele é uma ferramenta importante no gerenciamento da obra, sendo possível fazer o acompanhamento, controle, inspeções e até mesmo a manutenção no pós-obra. Ele permite o alcance a locais de difícil acesso como represas, pontes, prédios, torres, igrejas, entre outros.

Esta metodologia vem sendo aplicada na fase do pré-projeto no levantamento do local, passando pela fase construção, e também após a obra finalizada para a manutenção. Na fase de infraestrutura, por exemplo, seja na execução de concreto armado ou estruturas metálicas, os drones podem ser usados para a verificação da qualidade das soldas ou se ocorreram outras patologias. Para a inspeção da instalação elétrica, drones podem ser utilizados com sensores térmicos para a realização da termografia, expondo a diferença de radiação térmica (FEITAL, 2017).

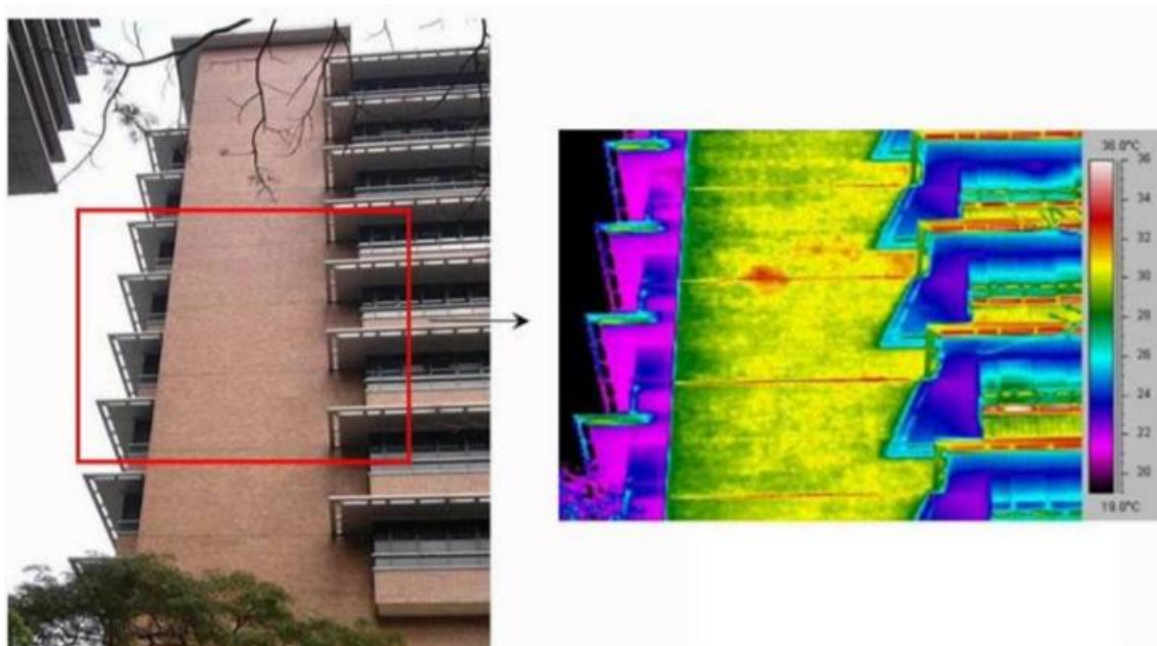


Figura 14 - Inspeção predial por termografia (FEITAL, 2017)

Após o término da obra, esse equipamento pode ser utilizado para a fase de inspeções, são feitos ensaios não destrutivos a partir da ampla coleta de dados visuais, posteriormente é realizado o processamento digital das imagens de modo a obter uma visualização completa, com uma alta resolução que permite analisar as mais pequenas patologias, como fissuras de 0,1 mm (FEITAL, 2017). Essa inspeção da obra avalia o seu estado desde a fundação até os acabamentos, com ela é feita a manutenção preditiva e corretiva, orçamentos e perícia da edificação, ela avalia também condições de desempenho, funcionalidade, vida útil, segurança, estado de conservação, utilização e operação (FEITAL, 2017).



Figura 15 - Foto tirada por um drone durante uma inspeção predial (ASSIS, DRUMOND, *et al.*, 2017)

Na área de transportes a utilização do drone é bem difundida devido as reduções de custo e tempo proporcionadas pela sua mobilidade. O seu uso para manutenção de estradas e rodovias é bem usual, o drone pode ser usado para a verificação do estado do pavimento em grandes distâncias, uma vez que o método comumente usados para esse tipo de verificação é visual (MELO, 2015). Os drones também são utilizados para a manutenção e acompanhamento de estruturas complexas e de difícil acesso como pontes, com isso é reduzido o risco de acidentes, o custo e o tempo necessário para os processos, não é necessário interromper o tráfego na ponte e podem ser realizadas técnicas não destrutivas (MELO, 2015).

A segurança dos trabalhadores da construção também é melhorada, uma vez que a aeronave é pequena e não expõe o controlador a nenhum risco. Outro fator é o monitoramento em tempo real da obra, isso permite observar frequentemente locais extensos, evitar acidentes e dar uma resposta rápida a qualquer problema, gerando um ganho de tempo se comparado ao processo tradicional. Existe também softwares

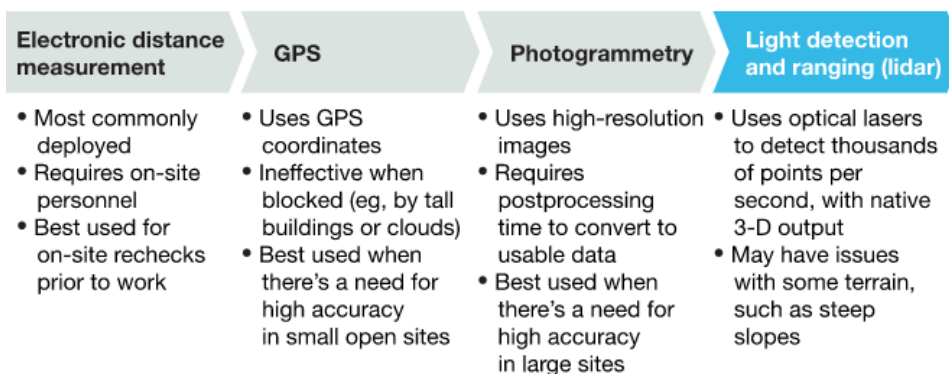
que detectam se os trabalhadores estão utilizando os seus EPIs corretamente (MELO, 2015).

Na etapa de levantamento de campo, necessária para o planejamento da obra, as discrepâncias entre as condições reais do solo e as estimativas iniciais podem exigir mudanças onerosas de última hora no projeto. Tecnologias estão sendo desenvolvidas para serem utilizadas com drones, elas utilizam fotos em alta definição combinadas com varredura 3D e sistemas de informações geográficas, aprimorando em precisão e velocidade o levantamento de campo feito por drones (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).

A Fotogrametria e o LIDAR (Light Detection and Ranging) são as tecnologias mais em foco atualmente. A Fotogrametria é feita com base em imagens em alta definição das áreas de pesquisa, mas o processamento das imagens para seu formato final leva tempo para ser concluído. O LIDAR é mais rápido e fornece imagens 3D de alta qualidade, podendo ser integradas com ferramentas de planejamento de projeto, como a plataforma BIM (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).

Lidar represents an evolution in surveying; added mobility from drones and handheld technology is a breakthrough.

Overview of technology commonly used in site surveys



While lidar has existed for some time, there has been a breakthrough in its use via drones/unmanned aerial vehicles (UAVs) and handheld platforms

- Handheld 3-D laser scanners
- Mounted on mobile platforms
- Some lidar systems are now under 10 kg and can be deployed with drones/UAVs

Figura 16 – Evolução dos métodos de levantamento de campo (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016)

Utilizada em conjunto com radar de penetração no solo, magnetômetros e outros equipamentos, o LIDAR pode gerar imagens 3D acima e abaixo do solo (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016). Esse tipo de coleta de dados aliado a sistemas de informações geográficas, que permitem que mapas, imagens, medições de distância e posições de GPS sejam sobrepostos, gera precisão e autonomia no processo. Por ser um ensaio não destrutivo e a distância que é utilizado, esse método minimiza os impactos e a perturbação gerada, se comparado a outros métodos.

4.4.2 Implementação

Os drones são equipamentos com uma ampla variabilidade de aplicações e de baixo custo se comparados a outros equipamentos da área. A difusão dessa tecnologia, a produção em massa e o avanço nas técnicas de fabricação, possibilitaram o seu barateamento. Diversas empresas comercializam drones ou produtos ligados a eles no Brasil, atualmente somam aproximadamente 20 (BARCELOS, 2017). Os fornecedores desse tipo de tecnologia estão oferecendo pacotes com drones, equipamentos específicos, upload de dados, serviços de processamento e o software para o controle de voo, captura de dados e visualização de informações (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).

As tecnologias de levantamento de campo também estão acessíveis, os custos caíram drasticamente. O LIDAR e o GPS cinemático em tempo real estão à venda por aproximadamente USD 10.000 (AGARWAL, CHANDRASEKARAN e SRIDHAR, 2016).

A capacidade de carga de drones industriais comuns aumentou e o peso de câmeras de alta resolução e outros sensores diminuíram, sendo possível o acoplamento desses equipamentos nos drones comuns. Sendo assim a viabilidade do uso de drones na construção está em contínuo crescimento e é possível dizer que eles estão prontos para a utilização.

De acordo com a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), em junho de 2019 havia cerca de 26 mil drones profissionais no Brasil (ANAC, 2019). É um número expressivo visto que é uma tecnologia recém adaptada ao uso civil.

Ao analisar os recentes melhoramentos na tecnologia, a seu barateamento e o potencial de agregação para a obra presume-se que essa tecnologia já está difundida na construção brasileira, a grande maioria dos autores diz que os drones estão sendo bem utilizados na Engenharia Civil, entretanto não foi encontrado nenhum estudo que quantifique o quão utilizados os drones realmente estão.

5 CONCLUSÃO

A Quarta Revolução Industrial já é uma realidade, seus conceitos estão sendo aplicados nos métodos de produção e novas tecnologias estão sendo desenvolvidas. Visto os benefícios, está sendo feito um esforço global para a implementação dessas inovações, com programas nacionais de implementação.

A sua aplicação para a Engenharia Civil é ampla, contemplando desde a fase de planejamento até o pós-obra com a manutenção. As principais tecnologias encontradas no mercado e em desenvolvimento são: a plataforma BIM, Internet das Coisas, a impressão 3D, os Veículos Aéreos Não Tripulados, os robôs autônomos, os sensores para a obtenção de dados, novos tipos de materiais inteligentes e softwares integrados especializados nas mais variadas etapas da obra.

A tecnologias selecionadas, que foram julgadas mais relevantes, foram a plataforma BIM, a impressora 3D e os Veículos Aéreos Não Tripulados.

Os efeitos que plataforma BIM promove nos diferentes ramos da Engenharia Civil estão sendo alvo de vários estudos, os resultados são excelentes. Ela segue o princípio de interoperabilidade da Indústria 4.0, com a digitalização e integração de dados, melhorando o planejamento da obra em uma ampla área de atuação, desde o planejamento até o pós-obra. A sua implementação está em andamento, cerca de 9,2% das empresas do setor da construção já aderiram, o equivalente a 5% do PIB da construção. Esse número tende a aumentar, visto o grande apoio governamental, com projetos de implementação como a Estratégia BIM BR e a exigência do uso da plataforma em obras públicas a partir de 2021. Sendo assim a plataforma BIM é uma tecnologia com um grande potencial, boa aceitação do mercado e que já está sendo implementada.

A impressão 3D é um método construtivo que usa a manufatura aditiva, ela permite racionalizar o uso de materiais, a construção customizada, previsibilidade e detalhamento no processo de construção, mas o principal benefício é a redução dos custos com mão-de-obra. Somente na área de encanamentos e sistemas de esgoto essa tecnologia está viável, porém em outras áreas ela ainda está em

desenvolvimento não sendo possível a sua utilização em larga escala e a sua viabilidade ainda não supera a de outros métodos como os pré-fabricados. No Brasil a impressão é usada somente para a criação de modelos estruturais e arquitetônicos, porém alguns protótipos estão sendo desenvolvidos por startups nacionais.

Os drones fornecem economia de mão-de-obra, digitalização e coleta de informações e mobilidade para inspeções e levantamentos de campo, além disso estão disponíveis a preços relativamente acessíveis. Eles podem ser aplicados desde a etapa de levantamento de campo até o pós-obra, com a manutenção. Recentemente ocorreram avanços com relação a essa tecnologia, aumentando sua capacidade de carga e tempo de voo, os equipamentos nele acoplados também estão em constante desenvolvimento e barateamento, as câmeras tiveram a sua resolução aumentada, ficaram menores e mais leves, os dispositivos de georreferenciamento se tornaram mais precisos e novas tecnologias sensoriais foram desenvolvidas. A implementação no Brasil já está bem avançada, cerca de 20 empresas já fornecem o equipamento e seus acessórios, e aproximadamente 26 mil drones para uso profissional estão sendo utilizados. Com relação ao uso na construção não foram encontrados dados quantitativos, porém é um consenso entre os autores que a tecnologia vem sendo bastante utilizada no Brasil.

Sendo assim foram estudados três exemplos, em que um ainda está em fase de desenvolvimento (impressão 3D), outro está em fase de implantação (plataforma BIM) e o último está bem difundido no setor (drones). Pode-se observar que as tecnologias baseadas na Quarta Revolução Industrial estão em contínuo desenvolvimento, se adaptando as necessidades do setor, e há um esforço por parte do governo, das empresas e de pesquisadores para as suas respectivas implementações.

REFERÊNCIAS

ABDI, A. B. D. D. I.-. Inovação, Manufatura avançada e o futuro da indústria: uma contribuição ao debate sobre as políticas de desenvolvimento produtivo., Brasília, 2017.

ACKER, A. V. Manual de sistemas pré-fabricados de concreto. **FIP**, n. Marcelo Ferreira, 2002.

AGARWAL, R.; CHANDRASEKARAN, S.; SRIDHAR, M. **Imagining construction's digital future**. McKinsey&Company. Singapura. 2016.

ANAC, A. N. D. A. C.-. **Site da Agência Nacional de Aviação Civil**, 2019. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/quantidade-de-cadastrros>>. Acesso em: 2 Julho 2019.

ASSIS, M. D. C. et al. A revolução das atividades de inspeções e vistorias em avaliações e perícias de engenharia - utilização de drones. **Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias**, Foz do Iguaçu, Agosto 2017.

BARCELOS, A. C. O uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) em monitoramento de campo: aplicabilidades e viabilidades. **Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2017.

BAUR, C.; WEE, D. Manufacturing's next act. **https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act**, 2015. Acesso em: 05 Junho 2019.

BAUR, C.; WEE, D. Manufacturing's next act. **McKinsey and Company**, 2015.

BLANCO, J. L. et al. **The new age of engineering and construction technology**. McKinsey&Company. [S.l.]. 2017.

CARVALHO, J. D. N. D. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. **Tecnológica**, v. 17, p. 19-28, 2008.

CBIC. Catálogo de Inovação na Construção Civil, Brasília, 2016.

CE-BIM, C. E. D. B.-. **BIM BR: construção inteligente**. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. [S.l.]. 2018.

CNI, C. N. D. I.-. Desafios para a indústria 4.0 no Brasil, Brasília, 2016.

CORR, D. J. et al. Investigating entrained air voids and Portland cement hydration with low-temperature scanning electron microscopy. **Cement & Concrete Composites**, v. 26, p. 1007–1012, 2004.

DATHEIN, R. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas dominantes nos séculos XVIII e XIX. **Publicações DECON Textos Didáticos**, Porto Alegre, Fevereiro 2003.

DEBS, M. K. E. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações., São Carlos: EESC-USP, 2000.

DIAS, L. A. D. M. **Aço e arquitetura**: estudo de edificações no Brasil. São Paulo: Zigurate, 2001.

DUTTA, S.; LANVIN, B.; WUNSCH-VINCENT, S. Índice Global de Inovação 2018, n. 11, 2018.

FEITAL, M. R. Uso de VANT (Veículo Aéreo não Tripulado) para inspeção de projetos de construção civil. **Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais**, Juiz de Fora, Julho 2017.

FIRJAN. Indústria 4.0. **Cadernos SENAI de Inovação**, Abril 2016.

FIRJAN. Indústria 4.0: Internet das Coisas. **Cadernos SENAI de Inovação**, Junho 2016.

FIRJAN. A Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios. **Tendências e Inovação**, Rio de Janeiro, Jan. 2019.

HENRIQUES, F. E.; MIGUEL, P. A. C. Adoção da modularidade em produto e em produção na indústria automotiva: uma análise comparativa em projetos de veículos com participação da engenharia brasileira. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 24, p. 161-177, 2017.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. **Technische Universität Dortmund**, 2015.

HOUSTON , F. B. et al. **Reinventing construction: a route to higher productivity**. McKinsey Global Institute. [S.l.]. 2017.

IBGE. Contas Nacionais Trimestrais, Out./Dez. 2018.

INOVAHOUSE3D. Inovahouse3d. **Site da Inovahouse3D**, 2019. Disponível em: <<http://inovahouse3d.com.br/>>. Acesso em: 8 Junho 2019.

JÚNIOR, M. F. F. A Terceira Revolução industrial e o Novo Paradigma Produtivo: Algumas Considerações Sobre o Desenvolvimento Industrial Brasileiro nos Anos 90. **FAE**, Curitiba, v. 3, p. 45-61, Mai./Ago. 2000.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. **Final report of the Industrie 4.0**, 2013.

LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, Jun. 2014.

LAUBIER, R. D. et al. Will 3D printing remodel the construction industry? **Site do Boston Consulting Group**, 2018. Disponível em: <<https://www.bcg.com/publications/2018/will-3d-printing-remodel-construction-industry.aspx>>. Acesso em: 25 Junho 2019.

LIMA, V. Y. S. D. et al. Indústria 4.0: Desafios e Perspectivas na Construção civil. **Campo do Saber**, v. 4, p. 146-158, Ago./Set. 2018. ISSN 2447-5017.

MARTINI, G. GM Projetos e Plotagens. **Site da GM Projetos e Plotagens**, 2018. Disponível em: <<https://www.gmarquiteturaengenharia.com/single-post/2018/03/10/BIM-E-AS-POLITICAS-P%C3%9ABLICAS-DO-BRASIL>>. Acesso em: 10 Junho 2019.

MELO, R. R. S. D. Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para monitoramento de obra com ênfase em segurança e logística. **Universidade Federal da Bahia**, Salvador, 2015.

NUNEZ, D. L.; BORSATO, M. Panorama atual dos sistemas Cyber-físicos no contexto da manufatura. **10 Congresso Brasileiro de Gestão da Inovação e Desenvolvimento de Produtos**, Itajubá, 08 Novembro 2015.

PEREIRA, A.; SIMONETTO, E. D. O. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, p. 1-9, Jan./Jul. 2018.

PFOHL, H. C.; YAHSI, B.; KURNAZ, T. Concept and Diffusion-Factors of Industry 4.0 in the Supply Chain. **Dynamics in Logistics**, p. 381-390, 2017.

PICCHI, F. A. Oportunidades da aplicação do Lean Thinking na construção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 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 Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2018.

PORTO, T. M. S. Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, Novembro 2016.

PORTUGAL, M. A. **Como Gerenciar Projetos de Construção Civil**. [S.l.]: Brasport, 2016.

REIS, C.; HEIDRICH, F.; FACÓ, J. O Impacto Competitivo na Indústria Brasileira com a Aplicação dos Conceitos da Indústria 4.0. **Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais**, São Paulo, p. 1-14, 2017.

RIBEIRO, M. S.; MICHALKA JR., C. A Contribuição dos Processos Industriais de Construção para Adoção de Novas Tecnologias na Construção Civil no Brasil. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, Set./Dez. 2003.

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

SCHWAB, K. The Global Competitiveness Report 2018. **World Economic Forum**, Cologny/Genebra, 2018.

SILVA, A. D. D. Impactos da Indústria 4.0 na Construção Civil. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2018.

SILVA, R. O. D. Revolução, história e tempo. **História: Debates e Tendências**, v. 15, p. 251-267, Jan./Jun. 2015.

SOUZA, B. A. et al. Análise dos Indicadores PIB Nacional e PIB da Indústria da Construção Civil. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, Salvador, v. 17, p. 140-150, Jan./Jun. 2015.

TOLEDO, R. D.; ABREU, A. F. D.; JUNGLES, A. E. A Difusão de Inovações Tecnológicas na Indústria da Construção Civil, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

WEISS, A. et al. First Application of Robot Teaching in an Existing Industry 4.0 Environment: Does It Really Work? **Societies**, v. 6, p. 20, 2016.

ZAWADZKI, P.; ZYWICKY, K. Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept. **Management and Production Engineering Review**, v. 7, p. 105-112, 2016.