

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ISABELLE BOMTEMPO LOPES

**ANÁLISE DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO I

Niterói

2022

ISABELLE BOMTEMPO LOPES

**ANÁLISE DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO I

Projeto de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal
Fluminense, como requisito parcial para
conclusão do curso.

Orientador:

Oswaldo Luiz Gonçalves Quelhas

Niterói

2022

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

L864a Lopes, Isabelle Bomtempo
Análise da Transformação Digital na Indústria da
Construção Civil / Isabelle Bomtempo Lopes ; Osvaldo Luiz
Gonçalves Quelhas, orientador. Niterói, 2022.
53 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,
Niterói, 2022.

1. Trabalho de conclusão de curso. 2. Transformação
Digital. 3. Indústria 4.0. 4. Construção Civil. 5.
Produção intelectual. I. Quelhas, Osvaldo Luiz Gonçalves,
orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de
Engenharia. III. Título.

CDD -

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, que sempre me deu o suporte necessário para acreditar e persistir na construção de minha formação acadêmica. E também aos amigos que estiveram ao meu lado durante todo esse processo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir chegar até aqui.

Agradeço ao meu pai, Wagner, que sempre enxergou na Educação o caminho capaz de transformar realidades e que sempre me deu a base e incentivos necessários para que buscasse sempre meu aprimoramento intelectual e profissional. A minha mãe, Alverinda, pelo cuidado ao longo de toda a minha vida me dando suporte e por me incentivar a buscar sempre minha independência por meio do conhecimento. E também a minha irmã, Gabrielle, que me inspira a buscar ser um exemplo de pessoa melhor a cada dia.

Aos amigos que fiz durante a faculdade, com quem compartilhei tantos momentos de sufoco e apreensão, mas também de alívio e comemoração por cada aprovação, e que entendem exatamente tudo o que custou para concluir cada etapa. Tenho certeza que sem a ajuda e disponibilidade deles eu não teria chegado até aqui.

Agradeço também aos meus amigos de vida, que conheço há tantos anos e que estiveram sempre presentes, cujo suporte e apoio emocional foram essenciais para manter o ânimo e o otimismo, mesmo nos momentos em que nem eu mesma acreditei. Agradeço pelas trocas diárias e pelos aprendizados que me ajudaram a me manter firme, mesmo longe de minha família.

E finalmente, agradeço a todos os professores que foram parte de minha formação, e que me ensinaram, cada um deles, algo diferente e que levarei para o resto de minha vida profissional.

RESUMO

O mundo atravessa atualmente a chamada de Revolução Digital, ou simplesmente 4ª Revolução Industrial, que tem integrado cada vez mais a tecnologia às atividades cotidianas de diversos setores da sociedade. O potencial transformador da tecnologia aplicada ao mercado, além de grandioso torna-se essencial, tendo em vista a já corrente digitalização de diversos modelos de negócio. Organizações que desejam se manter competitivas deverão impreterivelmente adequar-se às necessidades do novo modelo. Tendo em vista o referente cenário, esse trabalho propõe-se a identificar as principais características e estratégias necessárias para a transformação digital das empresas, especificamente aquelas do setor de Engenharia e Construção (E&C). O estudo busca também analisar os potenciais ganhos e limitações do setor da construção civil na adoção de novas tecnologias à sua cadeia de valor.

Palavras-chave: transformação digital, indústria 4.0, construção civil, construções inteligentes, construção 4.0

ABSTRACT

The world is currently going through the so-called Digital Revolution, or simply 4th Industrial Revolution, which has increasingly integrated technology into the daily activities of numerous sectors of society. The transformative potential of technology when applied to the market, in addition to its greatness, is essential, considering the ongoing digitalization of diverse business models. Organizations that wish to remain competitive will have to adapt to the needs of the new model. Considering the current scenario, this work seeks to identify the main characteristics and strategies necessary for the digital transformation of companies, specifically those in the Engineering and Construction (E&C) sector. This study also seeks to analyze the potential gains and limitations of the civil construction sector in the adoption of new technologies to its value chain.

Keywords: digital transformation, industry 4.0, civil construction, smart constructions, construction 4.0

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	O CONTEXTO	12
1.2.	QUESTÃO DA PESQUISA	12
1.3.	OBJETIVO DA PESQUISA	13
1.4.	DELIMITAÇÕES	13
1.5.	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2.	METODOLOGIA	14
3.	INDÚSTRIA 4.0	15
3.1.	Tecnologias e Processos	17
3.1.1.	<i>Machine Learning</i>	<i>18</i>
3.1.2.	<i>Internet of Things (IoT)</i>	<i>18</i>
3.1.3.	<i>Cyber-Physical Systems (CPS)</i>	<i>18</i>
3.1.4.	<i>Big Data</i>	<i>19</i>
3.1.5.	<i>Computação em Nuvem</i>	<i>19</i>
3.1.6.	<i>Realidade Aumentada (RA)</i>	<i>19</i>
3.1.7.	<i>Simulações</i>	<i>19</i>
3.1.8.	<i>Inteligência Artificial</i>	<i>19</i>
3.1.9.	<i>Manufatura Aditiva</i>	<i>20</i>
4.	ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	20
5.	A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	29
5.1.	Histórico e Contexto Atual da Construção Civil	29
5.2.	CONSTRUÇÃO 4.0	33

5.2.1.	<i>Desenvolvimento e Inovações</i>	35
5.2.2.	<i>Desafios da Digitalização</i>	39
5.2.3.	<i>Tecnologias de Digitalização dos Canteiros de Obras</i>	43
5.3.	Implementação da Indústria 4.0 na Construção Civil	47
6.	CONCLUSÃO	50
7.	REFERÊNCIAS	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pilares da Indústria 4.0

Figura 2 - Evolução Industrial

Figura 3 - Fluxograma Indústria 4.0

Figura 4 - Esquema CPS

Figura 5 - Passo a passo da Indústria

Figura 6 - Passos da Indústria 4.0

Figura 7 - Níveis de desenvolvimento da Indústria 4.0

Figura 8 - Níveis de abordagem de produto

Figura 9 – Fluxograma da implementação da Indústria 4.0

Figura 10 - Segmentação da cadeia de Construção Civil

Figura 11 - Setores envolvidos na Construção Civil

Figura 12 - Evolução da Indústria

Figura 13 - Evolução da Indústria da Construção

Figura 14 - Ferramentas tecnológicas desenvolvidas para a construção civil

Figura 15 - Nível de digitalização dos setores da economia

Figura 16 - Estrutura criada em impressora 3D

Figura 17 - Crescimento da adoção de drones

Figura 18 - Estrutura operacional dos Gêmeos Digitais

Figura 19 - Construção Conectada

Figura 20 - Tecnologias de transformação da Indústria E&C

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhamento dos parâmetros pesquisa

Tabela 2 - Principais conceitos da Indústrias 4.0

Tabela 3 - Princípios da Manufatura 4.0

Tabela 4 - Modelo de maturidade da PwC

Tabela 5 – Barreiras e desafios para a implantação da Indústria 4.0

Tabela 6 - Passos para impulsionar ferramentas digitais em empresas E&C

1. INTRODUÇÃO

1.1. O CONTEXTO

A sociedade contemporânea é marcada pelo grande impacto da revolução digital. Neste cenário é possível acompanhar uma transformação significativa dentro da Indústria onde a tecnologia passa a conectar máquinas e processos de forma cada vez mais inteligente, buscando uma maior integração de sistemas a fim de otimizar operações em seus mais diversos níveis de complexidade. Os conceitos envolvidos nessas mudanças estão diretamente ligados ao que se denominou Indústria 4.0, ou simplesmente Quarta Revolução Industrial. Segundo Eckatar Uhlmann, professor da Universidade de Berlim e diretor do Instituto IPK da Sociedade Fraunhofer, o objetivo da Indústria 4.0 é o de uma produção totalmente conectada ao mundo digital (ACATECH, 2013).

1.2. QUESTÃO DA PESQUISA

No Brasil, a digitalização da Indústria apresenta ainda pouco desenvolvimento, se comparado ao grande potencial existente. Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), apenas 48% das empresas utilizam de pelo menos um tipo de tecnologia em seus negócios, dentre grandes empresas o percentual cresce para 63% e chega a 25% em pequenas empresas (CNI, 2016).

A Indústria da Construção Civil brasileira, todavia apresenta uma base artesanal (DACOL, 1996) em seus processos, contrapondo-se a níveis crescentes de exigência quanto à produtividade, eficiência, segurança e maior controle da produção.

Em sua maior parte, utiliza de linhas de montagem e automação, características das 2ª e 3ª Revoluções Industriais (FIRJAN, 2016). Segundo a Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), o Brasil ocupa o 57º lugar, entre 132 países avaliados, no Índice Global de Inovação (IGI), que aponta as economias com maiores potenciais e sucesso em inovações.

1.3. OBJETIVO DA PESQUISA

O presente trabalho tem como foco investigar os principais potenciais de aplicação e empecilhos para a transformação digital dentro da Indústria da Construção Civil para que essa consiga responder às crescentes demandas de produtividade e exigências do Mercado, buscando adequar-se ao modelo da Indústria 4.0, identificando os fatores imprescindíveis à implantação da metodologia desta manufatura.

1.4. DELIMITAÇÕES

O presente estudo limita-se a apresentar e contextualizar o momento da Indústria da Construção frente aos desafios provenientes da necessidade de uma Transformação Digital no setor, investigado a estrutura do modelo ao qual se refere, por meio da identificação de conceitos e exemplos de aplicação ligados ao tema.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo do presente trabalho traz as motivações de escolha do objeto de estudo, o contexto em que se encontra, o objetivo e delimitações da pesquisa.

O segundo capítulo define a metodologia utilizada para a formulação do estudo.

O terceiro capítulo apresenta as definições do objeto de estudo, sua contextualização dentro da linha do tempo de evolução da indústria, e suas principais tecnologias.

O quarto capítulo apresenta as estratégias necessárias ao processo de transformação digital, caracterizando-o de forma objetiva.

No quinto capítulo discute-se o atual contexto da construção civil, as estratégias de implementação da indústria 4.0 no setor e os principais desafios para que ela aconteça, além de trazer também potenciais tecnologias relacionadas à digitalização dos canteiros de obras.

O capítulo seis traz as conclusões chegadas com base na análise realizada.

O período de identificação da produção bibliográfica utilizada no estudo está entre os anos de 1992 e 2022. Os artigos identificados foram localizados nas bases Scielo, Google Acadêmico e Researchgate.

2. METODOLOGIA

O presente estudo é o resultado da pesquisa qualitativa referente ao tema “Transformação Digital” que se deu por meio de levantamento de referências bibliográficas.

Devido ao reduzido número de material acadêmico relacionado ao tema, foi necessária a ampliação do número de palavras-chave utilizadas para a pesquisa, realizada inicialmente no portal de publicação de periódicos (CAPES) e posteriormente em outros sites de busca (Google, Bing), apresentadas na Tabela 1.

Palavras-Chave utilizadas na pesquisa Bibliográfica
Transformação Digital
Construção Digital
Indústria 4.0
Construção 4.0
Digitalização da Construção
Digital Transformation
Industry 4.0
Internet das Coisas
Construção Inteligentes
Smart Construction
Internet of Things
Machine Learning
Construção Automatizada
Industrialização da Construção Civil

Tabela 1 - Detalhamento dos parâmetros pesquisa

Não foi encontrado um número significativo de teses e dissertações, que se relacionassem diretamente com a pesquisa, nas buscas realizadas no portal periódico CAPES.

Os resultados obtidos mais expressivos foram em sua maior parte textos e relatórios disponibilizados por sites de importantes empresas de consultoria, artigos publicados em

simpósios e congressos de tecnologia. E com base nas referências utilizadas por esses materiais, foi possível ampliar também a literatura de consulta, utilizada no presente trabalho.

3. INDÚSTRIA 4.0

Caracterizada como Revolução Digital e descrita por Coelho (2016) também pelos termos “Quarta Revolução Industrial”, “manufatura avançada”, “factory of the future” e “inteligente factory”, a Indústria 4.0 promete um meio de produção mais inteligente, flexível, dinâmico e ágil, adaptável. Esse modelo de produção visa também a integração das etapas de sua cadeia de valor, desde as iniciais, em seu pré-planejamento, como no pós-venda, envolvendo ações de manutenção, reparo e acompanhamento do ciclo de vida do produto.



Figura 1 - Pilares da Indústria 4.0

“A indústria 4.0, também chamada de Quarta Revolução Industrial, é marcada pela informação digital. A tecnologia da informação se torna parte integral dos processos industriais, e decisões são tomadas de forma automática a partir do uso de um grande conjunto de dados armazenados, chamado de *Big Data*. Para a indústria 4.0 se torne factível, requer adoção de uma infraestrutura tecnológica formada por sistemas físicos e virtuais, com apoio do *Big Data*, *Analytics*, robôs automatizados, simulações, manufatura avançada, realidade aumentada e a internet das coisas” (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – FIRJAN, 2016, p.5)

A consolidação da nova Indústria passa pela necessidade de uma adequação de todas as partes de um processo a um formato que possibilite uma comunicação entre eles. Dentro dessa perspectiva são abordados conceitos como *Big Data*, *Internet of Things (IoT)*, *Manufatura Aditiva*, *Machine Learning*, *Cyber-Physical Systems (CPS)*, *Cloud Computing*, propondo mais eficiência e autonomia às etapas de produção.

O estudo *Indústria 4.0: Digitalização como vantagem competitiva no Brasil* (2016), da consultoria PricewaterhouseCoopers (PwC) Brasil Ltda, levanta três características importantes que impulsionam a Indústria 4.0:

“1) Digitalização e integração das cadeias de valor vertical e horizontal

A indústria 4.0 digitaliza e integra processos verticalmente em toda a organização, desde o desenvolvimento e a compra de produtos, até fabricação, logística e serviços. Todos os dados de processos de operações, eficiência dos processos e gestão da qualidade, bem como o planejamento de operações, estão disponíveis em tempo real, otimizados em uma rede integrada.

A integração horizontal se estende pelas operações internas, dos fornecedores até os clientes e todos os principais parceiros da cadeia de valor. Envolve tecnologias para controlar e rastrear dispositivos, e planejamento e execução integrados em tempo real.

2) Digitalização de produtos e ofertas de serviços

A digitalização de produtos inclui a expansão dos produtos existentes; por exemplo, adicionando sensores inteligentes ou dispositivos de comunicação que podem ser usados com ferramentas de análise de dados, bem como a criação de novos produtos digitalizados, com foco em soluções completamente integradas.

Ao integrar novos métodos de coleta e análise de dados, as empresas são capazes de gerar informações sobre o uso do produto e refiná-lo para atender às necessidades crescentes dos clientes.

3) Modelos de negócios digitais e acesso de cliente

As empresas líderes também expandem suas ofertas, fornecendo soluções digitais inovadoras, como serviços completos e orientados a dados, e soluções de plataforma integrada. Modelos de negócios digitais inovadores costumam estar focados na geração de receitas adicionais e em otimizar o acesso e a interação com o cliente. Produtos e serviços digitais frequentemente procuram oferecer aos clientes soluções completas em um ecossistema digital distinto.”

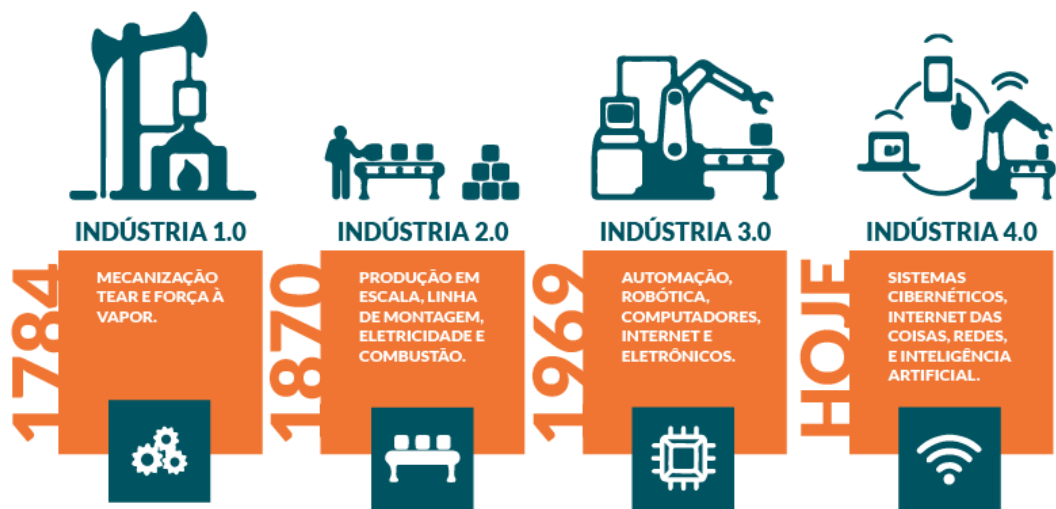


Figura 2 - Evolução Industrial

3.1. Tecnologias e Processos

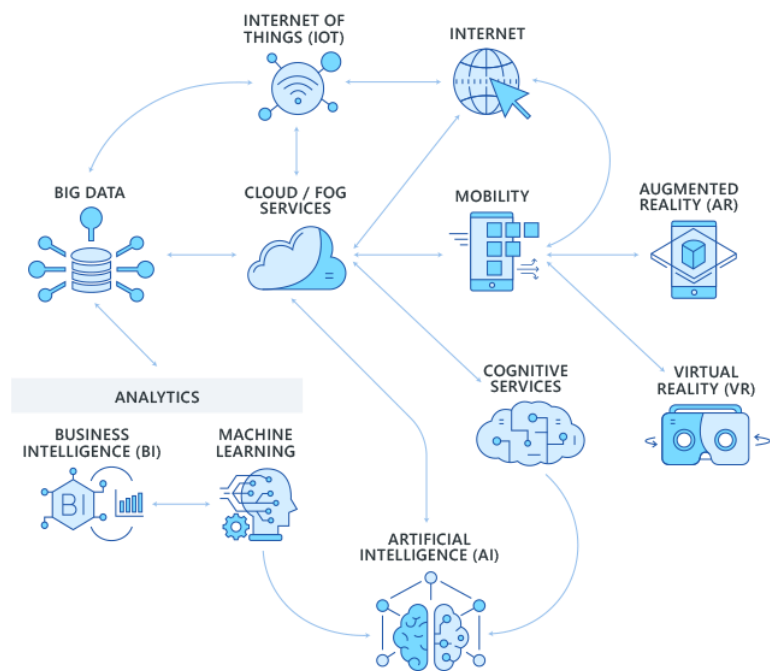


Figura 3 - Fluxograma Indústria 4.0

3.1.1. Machine Learning

O conceito de Machine Learning refere-se às técnicas computacionais aplicadas a equipamentos que permitem que os mesmos consigam melhorar seu desempenho com base em experiências anteriores. De forma geral, as máquinas ganham a habilidade de se auto aprimorarem. Dentro do contexto da digitalização dos processos tal proposta promove maior autonomia dos dispositivos utilizados.

3.1.2. Internet of Things (IoT)

O termo IoT – em português, Internet das Coisas – refere-se a utilização da internet para conectar sistemas e dispositivos. Por definição, a IoT está ligada à capacidade de interferir em objetos físicos por meio da comunicação de dados via internet, assim como a capacidade dos objetos utilizarem a internet para compartilharem seus dados.

3.1.3. Cyber-Physical Systems (CPS)



Figura 4 - Esquema CPS Fonte: E-Aware Technologies¹

O termo CPS refere-se aos Sistemas Ciber-Físicos, que são a integração da rede de computação com os sistemas físicos de maneira colaborativa e centralizada. O conceito baseia-se na sincronia das informações possibilitadas pela internet por meio de centros de comunicação que permitem que as operações possam ser monitoradas, controladas e coordenadas em tempo real.

¹ Disponível em: www.eaware.com.br/sistemas-ciber-fisicos-a-nova-revolucao/

3.1.4. Big Data

O termo Big Data refere-se a um conjunto de dados de grande volume e complexidade provenientes de diversas fontes, que escapam à capacidade de manipulação dos métodos tradicionais de gestão. Tal conceito está diretamente relacionado à ampliação da coleta e armazenamento de informações e registros, relacionados às mais diversas atividades, a fim de construir bases de dados para consulta cada vez mais robustas.

3.1.5. Computação em Nuvem

O termo refere-se ao ambiente não-físico de armazenamento de big data, que pode ser acessado remotamente a qualquer momento e de qualquer lugar por meio da internet. Os sistemas utilizados nos modelos digitalizados de negócios utilizam da comunicação via nuvem como parte de seus processos.

3.1.6. Realidade Aumentada (RA)

O termo Realidade Aumentada surgiu em 1992, criado pelo cientista e pesquisador Thomas P. Caudell, refere-se a tecnologia que permite a sobreposição de elementos virtuais no mundo físico em projeção 3D. Um sistema RA permite a interação natural, por meio da associação entre dados computacionais e o ambiente real, entre mundo físico e mundo virtual.

3.1.7. Simulações

O conceito de simulação consiste na reprodução, em ambiente virtual, de operações a serem realizadas no mundo real. O estudo *From bytes to barrels* (Delloite, 2017), cita a tecnologia denominada *Gêmeo Digital* (Digital Twin) que reproduz, com o auxílio de sensores instalados no ambiente real de uma operação, sua cópia virtual. Tais soluções garantem mais controle e segurança para as atividades.

3.1.8. Inteligência Artificial

Segundo Stuart e Norving (2003), a Inteligência Artificial (IA) é a reprodução do comportamento humano realizado por softwares e hardwares. O avanço tecnológico permite que por meio da IA baseando-se em padrões de banco de dados, as máquinas adquiram “inteligência” que as permite tomar decisões de maneira autônoma. Essa tecnologia se relaciona também com o conceito de Machine Learning.

3.1.9. Manufatura Aditiva

A manufatura aditiva é definida como “Processo de unir materiais para a produção de objetos a partir de dados de um modelo 3D, geralmente mediante o empilhamento camada sobre camada, ao contrário de metodologias de fabricação subtrativa” (ASTM, 2015). Tal modelo de manufatura permite a produção rápida de produtos personalizados, o que oferece vantagens construtivas atreladas à precisão técnica alcançada no produto final, o que é característico desse tipo de manufatura. Os produtos apresentam mais possibilidades de customização, conforme a necessidade do consumidor final (HAGEL III et al, 2015).

4. ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0



Figura 5 - Passo a passo da Indústria 4.0 Fonte: QADS²

A implementação da Indústria 4.0 passa pela transformação no modelo de negócios, que altera a forma de traçar estratégias de ação. A estratégia digital consiste não somente em adicionar tecnologia aos processos, mas também em inserir tecnologia às estruturas de organização, modelo e gestão, buscando promover a integração total dos processos de toda cadeia de valor da indústria.

Segundo Gupta (2018) quando buscam inovar, as empresas tendem a seguir a seguinte combinação de estratégias:

1. Criação de startups e unidades independentes dentro da organização;

² Disponível em: www.qads.com.br/transformacao-digital/index.php

2. Busca de tecnologias para melhoria de eficiência e redução de custos;
3. Realização de experimentos digitais

No entanto, ele afirma que tais ações sozinhas não são capazes de promover uma profunda transformação nas corporações. É preciso que se crie uma cultura digital de visão e na forma de traçar estratégias, de forma integral. As bases estratégicas dessa indústria precisam atrelar simultaneamente os aspectos de integração horizontal das redes de valor a nível estratégico, integração digital a nível processual, integração vertical e toda a rede do sistema de produção (OESTERREICH e TEUTEBERG ,2016; KAGERMANN et al., 2013). E para que tal objetivo seja alcançado, Anderl (2014) define como essencial a utilização de Sistemas Ciberfísicos, que possibilitem o compartilhamento de informações tanto em ambientes internos como externos à organização, por agregarem inteligência aos sistemas técnicos, tornando-os, portanto, sistemas inteligentes.

Grupos	Tecnologias / Conceitos
Fábrica Inteligente	Sistemas Ciberfísicos ou Cyber-Physical Systems (CPS)
	Sistemas Embarcados
	Identificador por Rádio Frequência ou Radio-Frequency Identification (RFID)
	Internet das Coisas ou Internet of Things (IoT)
	Internet dos Serviços ou Internet of Services (IoS)
	Automação
	Modularização / Pré-fabricação
	Manufatura Aditiva
	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto ou Product-Lifecycle-Management (PLM)
	Robótica
	Interação Homem - Computador ou Human-Computer-Interaction (HCI)
Simulação e Modelagem	Ferramentas de Simulação
	Modelos de Simulação
	Realidade Aumentada ou Augmented Reality (AR)
	Realidade Virtual ou Virtual Reality (VR)
	Realidade Mista ou Mixed Reality (MR)
Digitalização e Virtualização	Computação em Nuvem
	Big Data
	Computação Móvel
	Mídia Social
	Digitalização

Tabela 2 - Principais conceitos da Indústrias 4.0 (CORDEIRO et al. (2017))

HERMANN, PENTEK e OTTO (2015) listam seis princípios essenciais à uma adequação ao modelo 4.0, que são descritos na Tabela 3.

	Sistemas Cyber Físicos (CBS)	Internet das Coisas (IoT)	Internet de Serviços (IoS)	Fabricação Inteligente
Interoperabilidade	X	X	X	X
Virtualização	X			X
Descentralização	X			X
Adaptação em tempo real				X
Orientação a serviços			X	
Modularidade			X	

Tabela 3 - Princípios da Manufatura 4.0

O relatório criado pela PwC descreveu os 6 passos que devem ser seguidos pelas organizações que desejam adequar seu negócio ao modelo da Indústria 4.0, que serão descritos a seguir.

Passos para a implementação da Indústria 4.0/Transformação Digital:



Figura 6 - Passos da Indústria 4.0 Fonte: PwC Brasil Ltda (2016)

1) Mapear Estratégia

O primeiro passo deve ser uma avaliação quanto à maturidade digital da empresa em questão para entender o contexto no qual se encontra. A partir daí será possível traçar soluções estratégicas que melhor se adaptem ao modelo de negócio em avaliação, identificando os principais objetivos e obstáculos a serem superados.

A Tabela 4, apresenta o modelo de avaliação de maturidade proposto pela PwC, que relaciona Desenvolvimento de capacidades da indústria 4.0 ao longo de sete dimensões e quatro estágios.

	“Iniciante” digital	Integrador vertical	Colaborador horizontal	Champion digital
Modelos de negócios e acesso de clientes digitais	Primeiras soluções digitais e aplicativos isolados	Portfólio de produtos digitais e serviços com software, rede (M2M) e dados como diferenciais importantes	Soluções de cliente integradas ao longo das fronteiras da cadeia de suprimento, colaboração com parceiros externos	Desenvolvimento de novos modelos de negócio com portfólio inovador de produtos e serviços
Digitalização de ofertas de produtos e serviços	Presença on-line separada dos canais off-line, foco no produto e não no cliente	Distribuição multicanal com uso integrado de canais on-line e off-line; analytics implementado. Ex.: personalização	Abordagem de cliente individualizado e interação com parceiros da cadeia de valor. Interfaces integradas e compartilhadas	Gestão integrada da jornada do cliente ao longo dos canais de vendas e marketing digitais, com empatia do cliente e CRM
Digitalização e integração de cadeias de valor verticais e horizontais	Subprocessos digitalizados e automatizados. Integração parcial incluindo produção ou com parceiros internos e externos. Processos padrão para colaboração parcialmente definidos	Digitalização vertical e processos internos padronizados e harmonizados, fluxo de dados dentro da empresa; integração limitada com parceiros externos	Integração horizontal dos processos e fluxo de dados com clientes e parceiros externos, uso intensivo de dados por meio da integração total de toda a rede	Ecosistema de parceiros integrado, totalmente digitalizado, com processos virtualizados e auto otimizados, foco em competência essencial; autonomia descentralizada. Acesso a um conjunto de informações operacionais quase em tempo real
Data & Analytics como capacidade core	Capacidades analíticas baseadas principalmente em extração de dados semi manual; monitoramento e processamento de dados selecionados, sem gestão de eventos	Capacidades analíticas suportadas pelo sistema de inteligência de negócio isolado (BI); sistemas de apoio a decisão não padronizados	Sistema de BI central, consolidando fontes de informações relevantes, internas e externas. Análises preditivas. Sistemas específicos de apoio à decisão e de gestão de eventos	Uso central de análise preditiva para otimização em tempo real e manipulação automatizada de eventos com banco de dados inteligente e algoritmo de autoaprendizagem, permitindo análise de impacto e apoio à decisão

Arquitetura de TI ágil	Arquitetura de TI fragmentada – in-house	Arquitetura de TI homogênea in house. Conexão entre diferentes cubos de dados em desenvolvimento	Arquiteturas de TI em comum na rede de parceiros. Única data lake interligado com arquitetura de alta performance	Data lake único com funcionalidades de integração de dados externos e organização flexível. Barramento de serviço de parceiro, troca segura de dados
Compliance, segurança, legal e fiscal	Estruturas tradicionais. Digitalização fora do foco	Desafios digitais reconhecidos, mas não amplamente abordados	Risco legal consistentemente abordado com os parceiros de colaboração	Otimização da rede da cadeia de valor para compliance, segurança, questões legais e fiscais
Organização, funcionários e cultura digital	Foco funcional em “silos”	Colaboração interfuncional, mas não estruturada e realizada de forma inconsistente	Colaboração além das fronteiras da empresa, cultura e incentivo ao compartilhamento	Colaboração como um dos principais fatores de geração de valor

Tabela 4 - Modelo de maturidade da PwC Brasil Ltda (2016)

Desafios / Barreiras	Descrição	Autores
Alto investimento	Novos perfis tecnológicos irão exigir grandes investimentos em infraestrutura e capacitação.	Oesterreich e Teuteberg (2016)
Novo perfil de competências profissionais	Demanda por um novo perfil de profissional com conhecimento mais específico e/ou técnico sobre o funcionamento do novo modelo de manufatura inteligente. A grande dificuldade atual é a existência de um conjunto limitado trabalhadores qualificados, porém este fator pode ser encarado como oportunidade de desenvolvimento pessoal. Por parte da empresa, deve-se implementar estratégias de treinamento e promover a cultura de compartilhamento das boas práticas realizadas.	Oesterreich e Teuteberg (2016), Prause e Weigand (2016), Khan e Turowski (2016), Kagermann et al. (2013)
Aceitação dos funcionários	Resistência a mudanças e receio da troca de mão-de-obra por equipamentos inteligentes. Dificuldade de aceitação tecnológica e do conhecimento associado.	Oesterreich e Teuteberg (2016), Khan e Turowski (2016), Kagermann et al. (2013)

<p>Falta de padronização e arquiteturas de referência</p>	<p>Conceitos ainda estão em fase de construção, é possível perceber uma diversidade de propostas, porém sem formação de modelos padrões que melhoram a adoção da tecnologia. As propostas de modelo devem abranger um nível estratégico e padronização de aspectos técnicos, objetivando facilitar a implementação.</p>	<p>Oesterreich e Teuteberg (2016), Khan e Turowski (2016), Kagermann et al. (2013)</p>
<p>Segurança</p>	<p>Informações confidenciais sobre o projeto do produto e o ambiente de produção de uma determinada empresa são geradas, logo deve existir um aspecto de segurança de dados impedindo o vazamento de informações e acesso de usuários não autorizados. A estrutura de segurança é preocupante, pois este novo ambiente da Indústria 4.0 envolve um processo dinâmico de compartilhamento, colaboração, mobilidade, grandes volumes de dados, diversas fontes.</p>	<p>Oesterreich e Teuteberg (2016), Khan e Turowski (2016), Kagermann et al. (2013)</p>
<p>Mudanças organizacionais e de processo</p>	<p>Novas formas de organização do trabalho serão impulsionadas pela produção com customização em massa. Necessidade de um ambiente colaborativo de trabalho e com forte atuação da gestão de conhecimento, para que esta estrutura de manufatura inteligente se estabeleça de forma plena. Os ambientes colaborativos podem ser construídos tanto fisicamente como virtualmente, por intermédio do uso de mídia social e computação móvel.</p>	<p>Oesterreich e Teuteberg (2016), Khan e Turowski (2016), Brettel et al. (2014), Kagermann et al. (2013)</p>
<p>Legislação / Regulamentação</p>	<p>Necessidade de desenvolvimento de legislação direcionada a essas inovações tecnológicas. Deve-se dar atenção especial às questões de proteção de dados corporativos e de responsabilidade.</p>	<p>Oesterreich e Teuteberg (2016), Kagermann et al. (2013)</p>

Tratamento de dados	O ambiente dos sistemas envolvidos na Indústria 4.0 geram um enorme volume de dados proveniente de diversas fontes, demandando uma grande capacidade de armazenamento, processamento e gerenciamento. Um fator agravante para a questão dos dados é a falta de padronização.	Khan e Turowski (2016)
Tecnologia	Nem todos os conceitos aplicáveis na Indústria 4.0 estão em iguais níveis de maturidade e disponíveis no mercado, alguns destes ainda se encontram em discussão e em estágio de protótipo. Muitas indústrias ainda utilizam em seu processo produtivo um nível de tecnologia inadequado.	Oesterreich e Teuteberg (2016), Khan e Turowski (2016)

Tabela 5 – Barreiras e desafios para a implantação da Indústria 4.0 (CORDEIRO et al., 2017)

2) Criar Projetos-piloto

Uma vez estabelecidos os objetivos e estratégias de transformação, o seguinte passo consiste na implementação de projetos-piloto, que auxiliam na projeção do futuro projeto. Tal medida possibilita a experimentação prévia das intervenções pretendidas em partes específicas da cadeia de valor, antes de sua execução completa. É aconselhável utilizar as diretrizes do PMBOK (2013) na definição dos padrões de gerenciamento desses projetos (CORDEIRO et al., 2017) para escolher a parte do sistema produtivo no qual serão executadas tais experiências.

Lee et al. (2015) propõe uma estrutura operacional (Figura 7) que considera cinco níveis de desenvolvimento dos sistemas operacionais da Indústria 4.0, nos quais os projetos-piloto podem ser estruturados. A complexidade operacional acompanha a evolução dos níveis de desenvolvimento. Para ascender dentro da pirâmide, é preciso desenvolver todos os aspectos atrelados aos níveis anteriores.

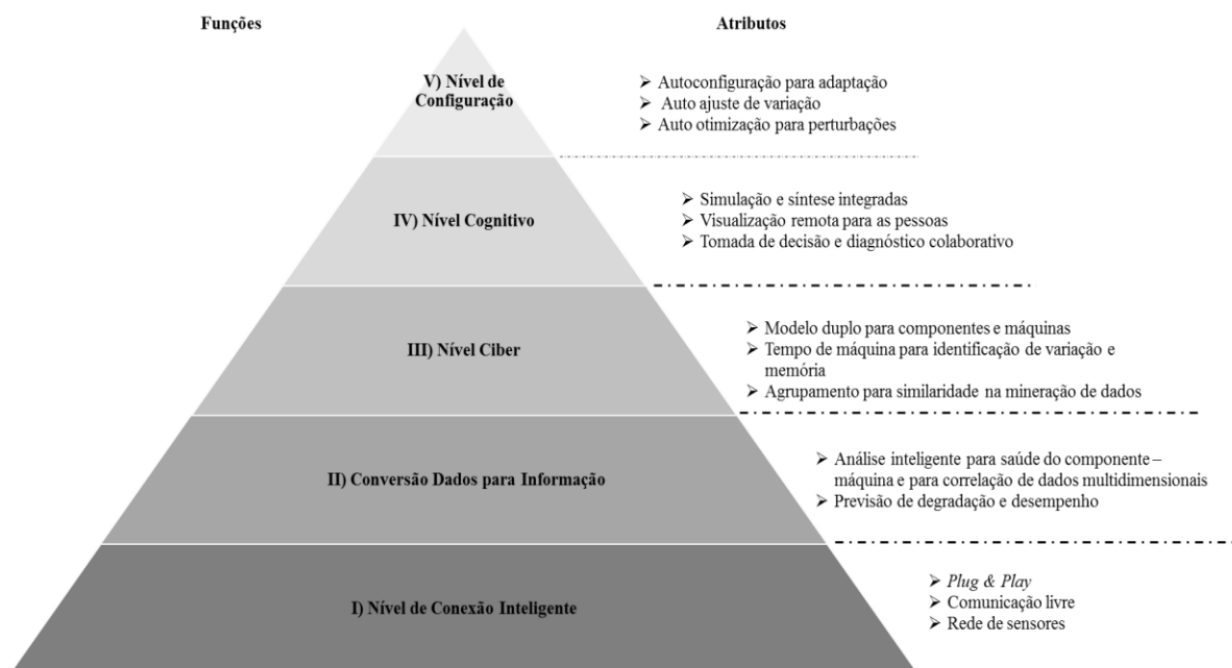


Figura 7 - Níveis de desenvolvimento da Indústria 4.0

Fonte: CORDEIRO et al. (2017)

3) Definir capacitações necessárias para a organização

Os resultados trazidos pelos projetos-piloto geram indicadores fundamentais para as tomadas de decisão seguintes, evidenciando as fragilidades e os pontos que necessitam de mais intervenções, auxiliando na definição das capacitações necessárias à organização como um todo. Segundo a PwC (2016), os focos de capacitação precisam considerar quatro dimensões estratégicas: organização, pessoas, processos e tecnologia.

4) Investir em análise de dados

As organizações digitais são baseadas na coleta e utilização de dados dentro de seus processos. Portanto, dentro da estratégia de implementação da Indústria 4.0, investir na especialização em análise de dados torna-se também um dos passos rumo à transformação digital.

5) Consolidar Modelo Digital de Negócios

A Indústria 4.0 tem dentre suas características principais, e requisitos do modelo que propõe, a cultura digital. É preciso que essa cultura seja refletida em toda a estrutura da organização, consolidando o Modelo Digital Negócio que além de altamente integrado e tecnológico, deve ser colaborativo e criativo. Para que isso aconteça é preciso que as lideranças estejam cientes dessas necessidades e as tenham como prioridade.

6) Abordagem ecossistêmica

Uma vez cumpridos os passos estratégicos de digitalização, o resultado será um ecossistema complexo e multifacetado, o que exigirá um modelo de gestão sistêmico, capaz de promover o compartilhamento de informações e uma comunicação eficaz entre todos as partes. A abordagem sistêmica permite a colaboração entre as partes envolvidas no Negócio de maneira harmoniosa, visando uma construção conjunta de produto.

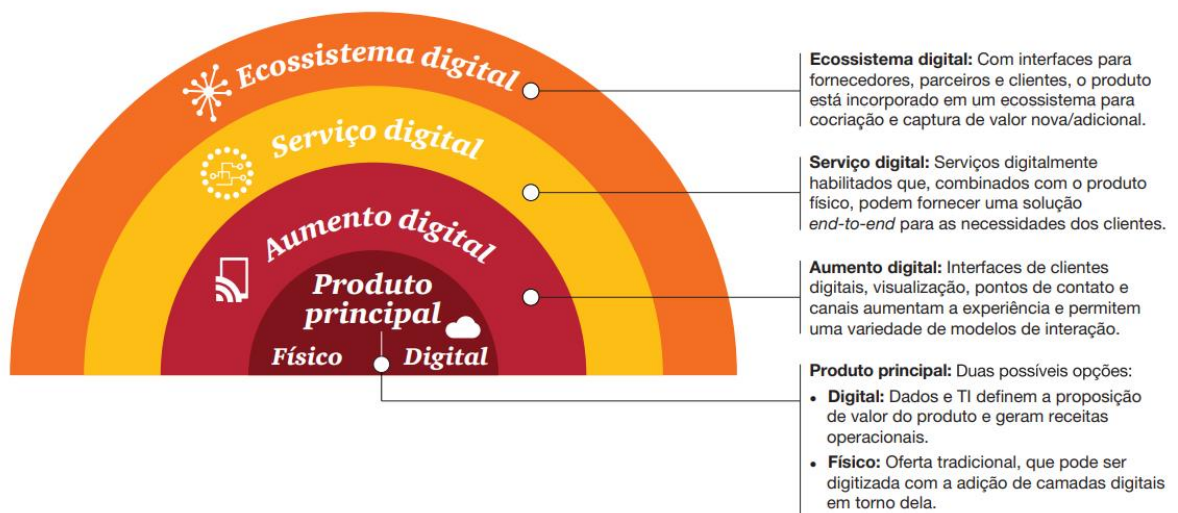


Figura 8 - Níveis de abordagem de produto Fonte: PwC Brasil Ltda (2016)

A partir dos passos descritos, extraídos do relatório da PwC, foi possível a montagem de um fluxograma que auxilia na visualização das etapas definidas como cruciais à implementação da Indústria 4.0.

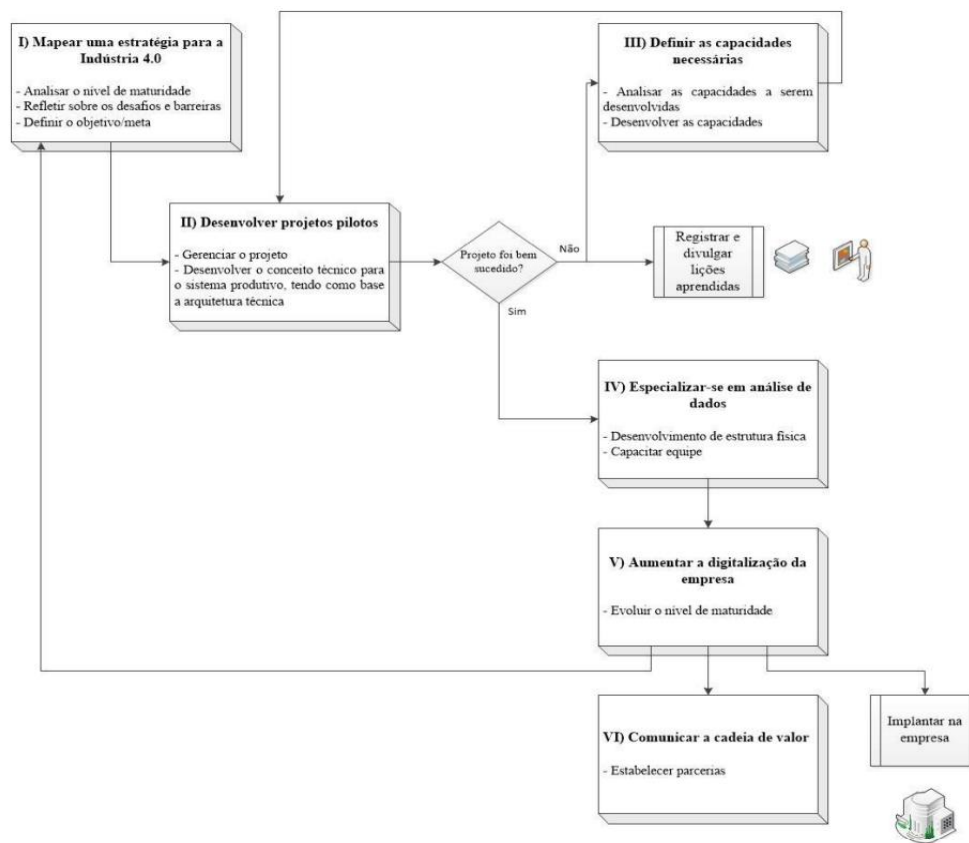


Figura 9 – Fluxograma da implementação da Indústria 4.0 (PORTO, Gabrielle; KADLEC, Thalita, 2017)

5. A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

5.1. Histórico e Contexto Atual da Construção Civil

A Indústria da Construção Civil impacta direta e indiretamente diversos outros setores, proporcionando empregos diretos e indiretos, e seu desenvolvimento está diretamente ligado ao PIB (Abiko, 2003). Seu desenvolvimento é essencial também para solucionar déficits históricos, habitacionais e de infraestrutura. Além disso, precisa apresentar soluções mais sustentáveis como alternativas de racionalizar seus impactos no Meio.

Segundo Vergna (2007), o setor difere-se dos demais devido a uma significativa complexidade de relacionamentos ao longo da cadeia produtiva.

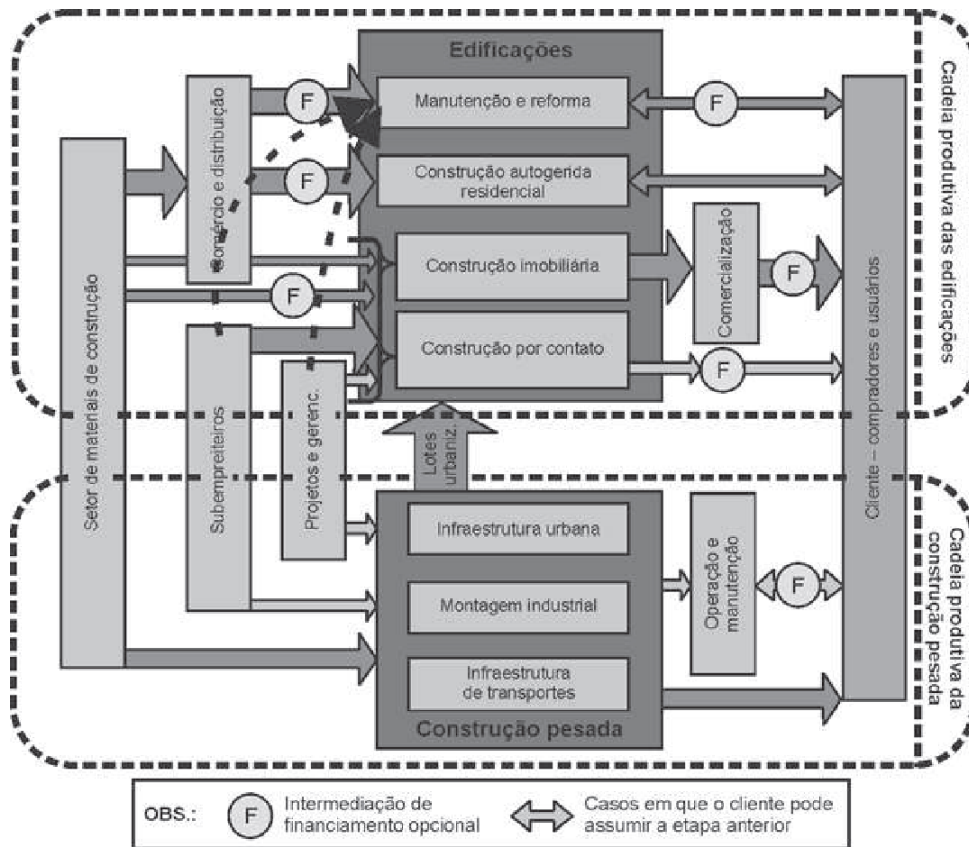


Figura 9 - Segmentação da cadeia de Construção Civil (Deconic/Fiesp (2008), p.13.)

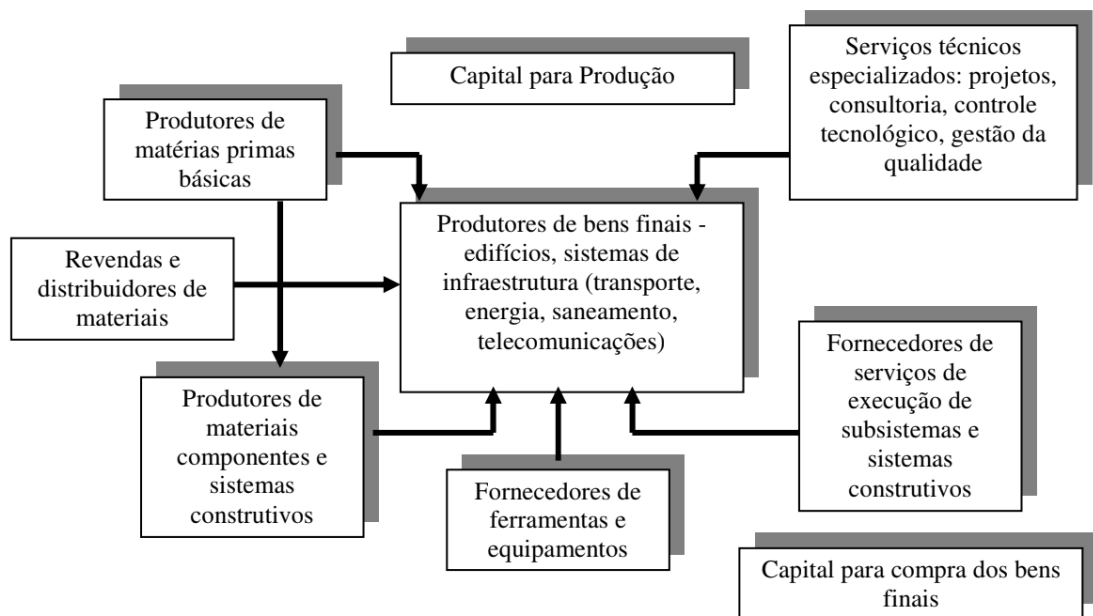


Figura 10 - Setores envolvidos na Construção Civil (NGI NORIE - UFRGS (2006))

De maneira simplificada, a Construção Civil brasileira pode ser resumida em três subsetores: materiais de construção, edificações e construção pesada (MONTEIRO FILHA; COSTA; ROCHA, 2010).

A Construção Civil brasileira ainda é considerada bastante tradicional e convencional. No entanto, devido às demandas de produtividade e redução de custos verifica-se também uma combinação dos métodos tradicionais e convencionais a métodos mecanizados em operações mais pesadas (DACOL, 1996), onde a máquina substitui o trabalho humano, garantindo, também, mais segurança às operações.

Apesar de seu grande impacto no setor econômico e na sociedade como um todo, a indústria da construção civil apresenta muita lentidão na adoção de novas tecnologias (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008). Diversas operações são realizadas com base no controle manual e visual, que está ligado diretamente ao capital humano. Dentre as dificuldades para a implementação das automações à construção civil, está a multiplicidade de disciplinas envolvidas nos processos (fornecedores, arquitetos, produtores e prestadores de serviços) e seu baixo nível de padronização. No entanto, entre 2011 e 2017 empresas de tecnologia da construção receberam US\$10 bilhões em fundos de investimento (BLANCO et al., 2017), o que indica uma mudança iminente nessa indústria.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), a busca por tecnologias que diminuam o contingente humano dentro de um canteiro de obras tem crescido, devido a um elevado custo de mão de obra observado no cenário atual (CBIC, 2016).

Atualmente, além das demandas por melhora na produtividade, o compromisso adotado pelo Brasil para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) cria desafios para a criação de uma indústria da construção mais segura, auto regulável, inclusiva, integrada e conectada.

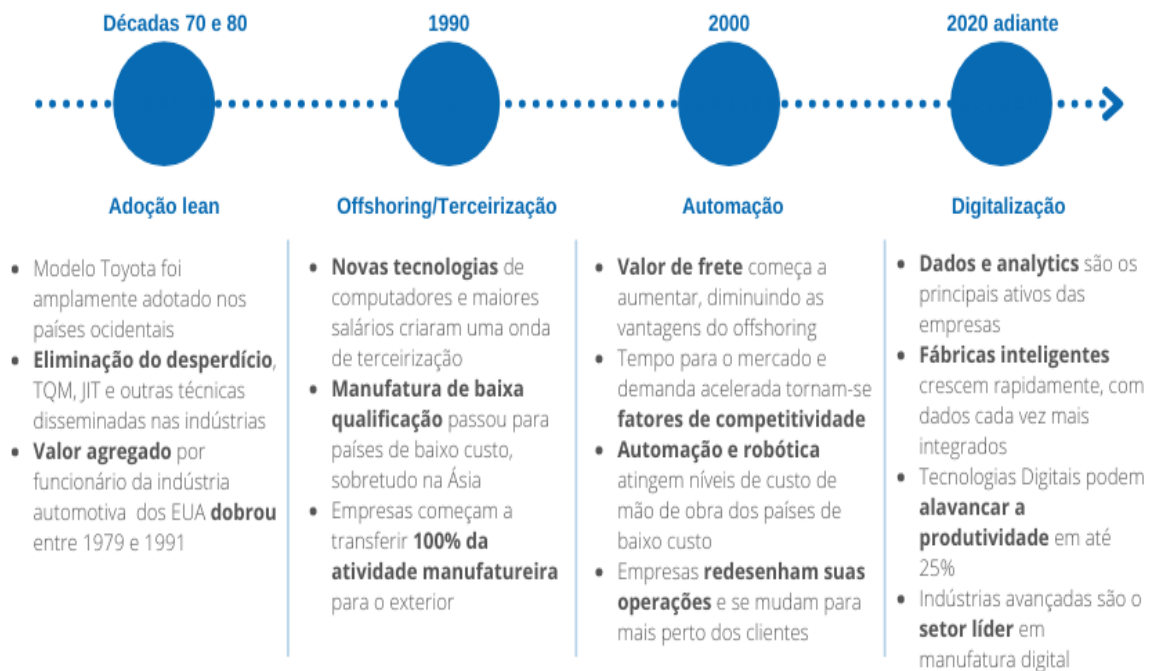


Figura 11 - Evolução da Indústria

5.2. CONSTRUÇÃO 4.0

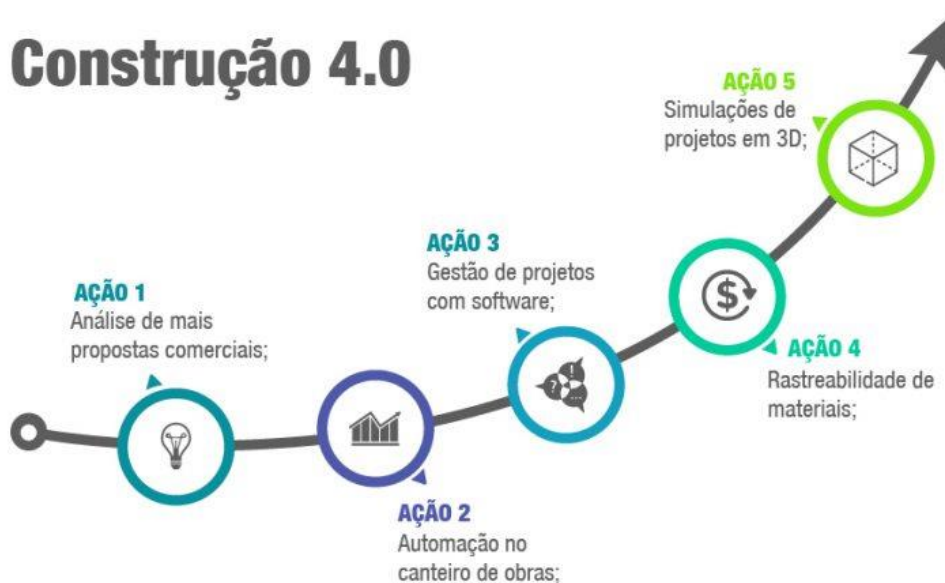


Figura 12 - Evolução da Indústria da Construção

Em 2013, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), passou a vigorar a NBR 15.575 (ABNT, 2013), Norma de Desempenho que estabelece conceitos de gestão de qualidade e direciona a adoção, por parte das empresas, de novos modelos de gestão. A Norma instituiu padrões mínimos de desempenho durante a vida útil dos elementos de uma obra, o que direciona tal indústria a adotar sistemas construtivos cada vez mais inovadores (CBIC, 2016).

Segundo Vargas (1992) a inserção de inovações tecnológicas aos processos contribui para a melhoria das condições de trabalho bem como para com a qualidade do produto final.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) – que utilizou o conceito de inovação do Manual de Oslo – as inovações na construção civil podem ser caracterizadas em:

- Inovações de produto;
- Inovações de processo;
- Inovações organizacionais;

- Inovações de marketing.

“Com base nesses conceitos, podem-se depreender as seguintes inovações na construção civil, de forma correspondente:

1. As que agregam características de desempenho aos edifícios – São inovações que não necessariamente agregam mudanças no processo produtivo, mas trazem novas características que melhoram o comportamento em uso da edificação para o usuário, pela ótica de requisitos de desempenho (térmico, estrutural, impacto ambiental etc.). Estas podem ser em materiais, componentes ou sistemas construtivos ou ainda inovações de projetos. Muitas inovações dessa natureza exigem uma combinação de inovações de produto e de projeto.

2. As que afetam o processo produtivo – São inovações decorrentes de materiais, componentes ou subsistemas construtivos inovadores que revolucionam ou produzem mudanças incrementais no processo de produção, implicando aumento de produtividade, qualidade, segurança no trabalho ou mais de um desses fatores. Podem ser também na forma de fornecimento de materiais, componentes e serviços ou ainda de introdução de equipamentos e ferramentas.

3. As que afetam os processos internos das empresas ligados não só ao produto, mas processos administrativos, de atendimento ao cliente etc. – Em geral são provenientes da implantação de softwares, de arranjos de trabalho com fornecedores, envolvendo novas formas de prestação de serviços; e

4. As que afetam a promoção do produto e sua colocação no mercado – inovações de marketing, que envolvem uso de sistemas via web para visualização de produtos, personalização de apartamentos, softwares para visualização de especificações, projetos etc.” (MONTEIRO FILHA; COSTA; ROCHA, 2010, p. 378)

O principal desafio para que os aspectos da Indústria 4.0 se reflitam na Indústria da Construção está na necessidade de que as construtoras busquem incorporar os conceitos de digitalização ao longo de toda a cadeia produtiva. A utilização de ferramentas computacionais em paralelo com outras ferramentas tecnológicas se apresenta ainda de forma tímida nos canteiros de obra ou não são utilizadas em sua inteira complexidade nos ambientes onde são mais presentes. A adoção de tecnologias ainda é feita de maneira muito pontual e personalizada, conforme a escolha de cada construtora. Não se consegue identificar e definir um padrão da aplicação das tecnologias dentro das etapas construtivas.

O conceito de BIM (Building Information Modeling) vem se consolidando nos últimos anos dentro das principais, o que é um grande passo para a digitalização dos métodos construtivos, considerando a tradução literal da sigla como sendo “modelagem da informação da construção”. A absorção da ideia desse modo de organização construtivo é importante para a integração das etapas envolvidas nos processos como um todo, ponto intrínseco à transformação digital.

A digitalização e integração dos processos oferecem enormes benefícios para a redução de falhas e aumento da eficiência nas operações (Portugal, 2016). No entanto, como aponta a PwC Global (2016), a implementação da cultura digital nas empresas de engenharia se mostra o maior desafio a ser superado para que seja possível alcançar tais objetivos. A qualificação da mão de obra envolvida nos processos também é um fator dificultador para tais medidas.

A falta do incentivo governamental mais expressivo e os altos custos envolvidos na implementação de sistemas digitais são fatores que certamente atrasam o desenvolvimento da indústria digital. No entanto, os pontos positivos oferecidos, como o ganho em qualidade, agilidade e segurança nos canteiros, promete atrair o interesse à adesão a esse novo modelo industrial também no setor da construção.

VASCONCELLOS (2017) acredita que a construção civil se aproximará do modelo da indústria automobilística, que apresenta uma constante sistematização de processos. Para UGULINO (2017), no futuro, os mestres de obra serão substituídos por técnicos em edificações que vem sendo preparados nas escolas técnicas para o trabalho com a tecnologia BIM, considerando também a obrigatoriedade, via Decreto Presidencial (Nº 9.377) firmado em 2018, da utilização da plataforma nos projetos de construção no Brasil, em vigor desde 2021.

Para que ocorra uma transformação integral na indústria da construção é preciso considerar tanto a automatização/digitalização dentro do canteiro (on-site) como fora do canteiro (off-site). O BIM pode ser a porta de entrada de novas tecnologias nas novas edificações (CORRÊA, 2016), impulsionando a integralização dos processos e conferindo mais controle às atividades.

5.2.1. Desenvolvimento e Inovações

O avanço tecnológico e necessidade de sua implantação na Construção Civil tem fomentado o surgimento de Constutechs, que são startups voltadas especificamente para a indústria da construção. Essas startups propõem-se a trazer soluções tecnológicas para as diversas fases de projeto, dentro e fora do canteiro. Segundo a aceleradora Construtech Ventures, em 2020 o Brasil possuía 562 Constutechs e elas já receberam mais de US\$7,2 bilhões em investimentos ao redor do mundo (INTEC Brasil, 2020)³.

³ Disponível em: <https://www.intecbrasil.com.br/o-que-e-uma-construtech.html>

Construtoras tradicionais no Brasil como Cyrela e Andrade Gutierrez já vem investindo em construtechs. O investimento tem como intenção encontrar respostas ao que se define como os principais desafios da construção civil:

- Agilidade na capacitação de mão de obra;
- Otimização da logística de materiais;
- Canteiros Sustentáveis;
- Otimização de tempo nas atividades;
- Apontamento da produção em tempo real;
- Gestão remota;
- Gestão de Canteiro de Obras;
- Contratações;
- Orçamentos;
- Gestão de suprimentos;
- Gerenciamento de resíduos;
- Segurança do Trabalho
- Controle de Qualidade;
- Produção de modelos interativos de projeto.

O objetivo buscado por essas startups é de inserir tecnologia que torne as etapas de projeto mais inteligentes, conectadas umas às outras de forma autônoma. De maneira geral, a fase de construção tende a receber mais atenção das startups na busca e desenvolvimento de soluções, em relação às fases de projeto, pré-construção ou operações e gerenciamento. Dentro da fase de construção é possível identificar três casos de uso: execução no local, colaboração digital e integração de back-office (BLANCO, MULLIN, et al., 2017).

- **Execução Local**: atrasos e baixa produtividade são desafios a serem superados no dia a dia de obra, e algumas ferramentas e soluções vêm sendo desenvolvidas para as seguintes atividades:
 - Produtividade de campo: ferramentas capazes de rastrear, em tempo real, as equipes de campo, computando as horas trabalhadas, o tipo de atividade sendo realizada, localização. Os dados obtidos, conjuntamente com o uso de aplicativos, auxiliam na visualização e administração do projeto.
 - Monitoramento de segurança: ferramentas que auxiliam no rastreamento e comunicação de incidentes de segurança, das condições físicas dos

trabalhadores e que emitem alertas de segurança que permitem um maior controle do local de trabalho.

- Controle de qualidade: ferramentas que auxiliam na inspeção e controle, monitorando o espaço, materiais e equipamentos, e comunicando os status e as pendências do local. A expectativa do mercado E&C é da criação de sistemas autônomos, que utilizem da Inteligência Artificial, conectada a outras tecnologias, para controle de qualidade e logística da cadeia de suprimentos. Atualmente a utilização de GPS em atividades ligadas ao transporte já potencializa a precisão das especificações de projetos.

- **Colaboração Digital:** devido à multidisciplinaridade da indústria de E&C, as partes envolvidas em sua cadeia de valor encontram-se frequentemente dispersas. Por isso há a necessidade do desenvolvimento de ferramentas que possibilitem a comunicação frequente entre as mesmas, garantindo assim o alinhamento entre elas. E para que isso aconteça as pesquisas são direcionadas às seguintes atividades:

- Gerenciamento de projeto: ferramentas que possibilitam a atualização de documentos de projeto diretamente do campo.
- Gestão de contratos: ferramentas que auxiliam em tarefas de verificação de conformidade com o contrato e atualização quanto às possíveis renegociações.
- Gestão de desempenho: ferramentas que possibilitem atualizar e comunicar informações em tempo real, em todas as fases do projeto.
- Gestão de documentos: ferramentas que permitem o acesso contínuo à toda documentação do empreendimento, gerando também um repositório de projetos anteriores que possam auxiliar.

- **Integração de Back-office:** geralmente as atividades de back-office estão ligadas a planejamento e gestão, reunindo informações financeiras, comerciais, cronogramas, dentre outras. As startups vêm desenvolvendo soluções que abordam principalmente questões contábeis, garantindo acesso à equipe de campo a dados back-office como, por exemplo, o status de pedidos e pagamentos.

A Figura 13 relaciona as ferramentas e soluções que vêm sendo desenvolvidas para a indústria de Engenharia e Construção (E&C) com foco em todo o ciclo de vida dos projetos.

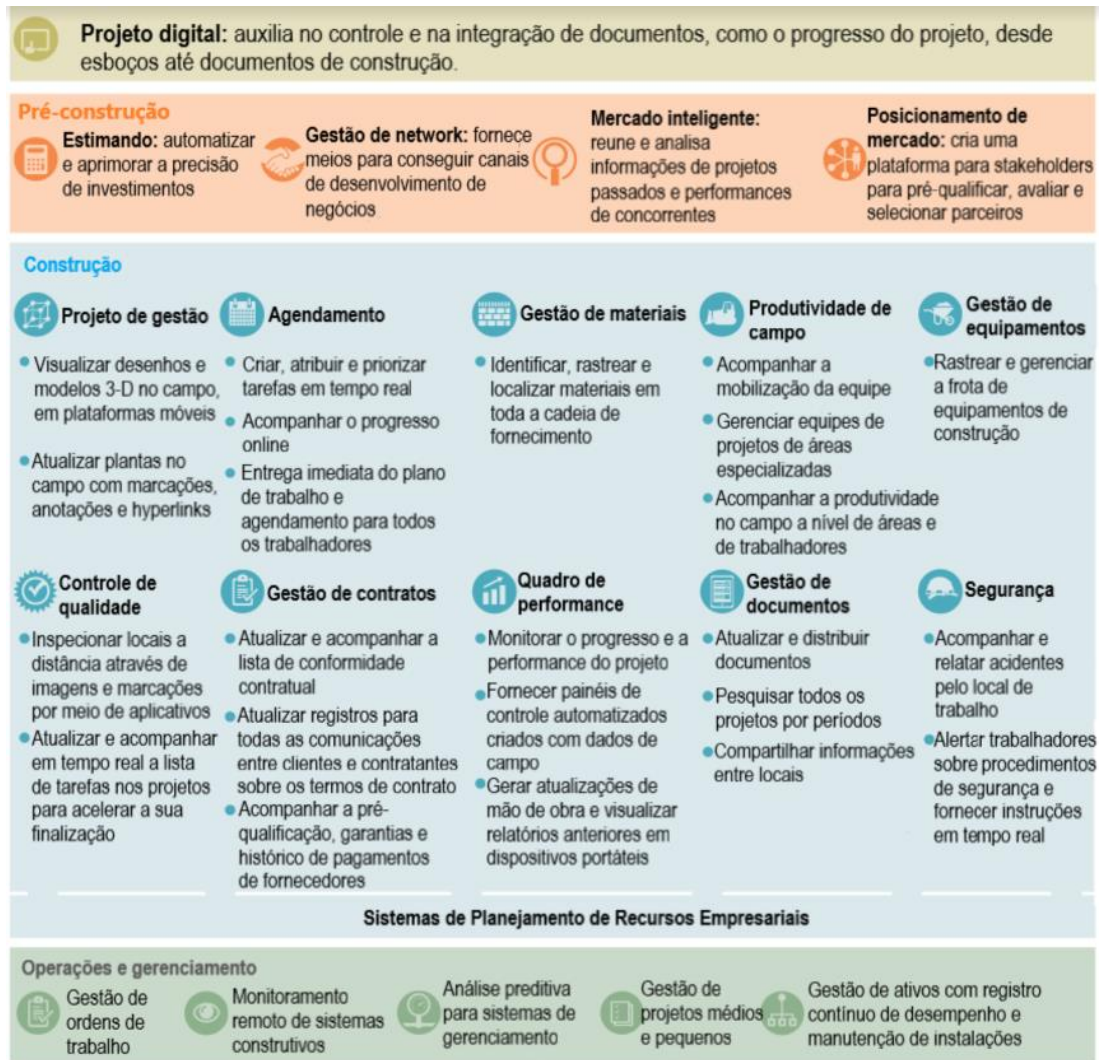


Figura 13 - Ferramentas tecnológicas desenvolvidas para a construção civil (BLANCO, MULLIN, et al., 2017)

Destacam-se também as soluções de software e hardware para casos de uso, como nas aplicações de análise preditiva, que utilizam de análise de dados e machine learning, no monitoramento de projeto e monitoramento de segurança, facilitados pela utilização de Internet das Coisas (IoT) e de Realidade Aumentada.

5.2.2. Desafios da Digitalização

O nível de digitalização é um poderoso indicador de produtividade, e o setor da construção apresenta índices muito baixos neste quesito, ainda mais quando comparado a outros setores, como demonstra a Figura 14.



Figura 14 - Nível de digitalização dos setores da economia (AGARWAL, et al., 2016)

Muitas empresas hesitam ao investir em tecnologia para a realização de suas atividades diárias devido à falta de familiaridade com as ferramentas de colaboração digital e ausência de um retorno imediato expressivo, principalmente quando tais medidas pressupõem um aporte financeiro significativo. A adoção pontual de inovações tecnológicas limita o seu impacto em aumento de produtividade.

O projeto realizado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e conjunto com a Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), publicado em 2017 pela CBIC, relaciona os principais retardatários do desenvolvimento tecnológico na Indústria da Construção Civil brasileira, listados a seguir:

- Dificuldades no gerenciamento de programas e projetos integrados;
- Falta de qualificação da mão de obra e de micro e pequenos empresários;
- Inexistência de mecanismos de apoio e indução ao desenvolvimento de pequenas empresas de prestação de serviços de construção;
- Falta de qualificação dos profissionais da construção quanto a modernos conceitos e práticas de gestão da segurança;
- Ausência de visão preventiva dos sistemas de gestão da segurança quanto à ocorrência de acidentes;
- Baixo envolvimento de empresas construtoras e projetistas na busca pelas melhores condições de trabalho;
- Atraso no desenvolvimento de tecnologias de open building adaptadas à realidade brasileira, envolvendo colaboração de vários agentes da cadeia, incluindo indústrias fabricantes de materiais e componentes e empresas construtoras;
- Baixa disseminação dos conceitos e práticas de coordenação modular;
- Falta de ferramentas de tecnologia da informação para suporte ao projeto, manufatura e montagem de sistemas e componentes construtivos, incluindo BIM (Building Information Modeling ou Modelagem da Informação da Construção), modelagem computacional em 4D, sensores, RFId (Radio Frequency Identification), entre outros;
- Baixo nível de desenvolvimento de novas competências entre os profissionais da construção para se adaptarem às mudanças requeridas pela industrialização aberta;
- Baixo nível de desenvolvimento de documentação técnica detalhada, tais como práticas recomendadas ou códigos de práticas;
- Baixo nível de avaliação sistemática de programas e empreendimentos de construção, particularmente nos setores de habitação de baixa renda e obras públicas, de forma a melhorar a retroalimentação de futuros investimentos;
- Baixo nível de desenvolvimento e de disseminação de métodos e técnicas de captação e processamento de requisitos dos clientes;

- Baixo nível de consolidação e aperfeiçoamento da tecnologia de projeto baseada em desempenho e da avaliação de desempenho, em especial durabilidade;
- Insuficiência da normalização técnica e combate restrito a não conformidade de materiais, principalmente nas cadeias produtivas menos organizadas;
- Falta de informações detalhadas e facilmente disponíveis para apoiar as decisões de projetos, tais como dados climáticos, desempenho de componentes, etc;
- Falta de capacitação profissional tanto no que se refere a conhecimentos gerenciais como técnicos;
- Baixo nível de colaboração entre os centros de pesquisa e a indústria em redes e projetos de pesquisa de mais longo prazo e com objetivos mais ambiciosos;
- Infraestrutura laboratorial inadequada para pesquisa e desenvolvimento inovadores em materiais de construção, componentes e sistemas construtivos;
- Baixo nível de inserção internacional dos grupos de pesquisa, tanto no âmbito latino-americano, como em relação a centros de pesquisa de ponta de países desenvolvidos;
- Infraestrutura laboratorial inadequada para pesquisa e desenvolvimento inovadores em materiais de construção, componentes e sistemas construtivos;
- Baixo nível de colaboração entre os centros de pesquisa e a indústria em atividades de pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e componentes em projetos de pesquisa de mais longo prazo;
- Falta de capacitação de profissionais e empresas em conceitos e metodologias relacionadas ao processo de desenvolvimento de novos produtos;
- Inadequação das práticas de gestão da produção, principalmente no que se refere à logística de canteiros de obras e controle da produção;
- Falta de integração da cadeia de suprimentos, envolvendo as cadeias diretas e reversas;
- Baixo nível de racionalização das tecnologias de produção visando à redução de seus impactos socioambientais (economia de recursos, diminuição de emissões, melhoria das condições de trabalho, etc.);
- Baixo nível de conhecimento sobre os impactos e incômodos causados pelos canteiros de obras;
- Falta de legislações municipais adequadas;
- Falta de componentes e soluções técnicas adequadas a manutenção e reformas;
- Ausência de protocolos para diagnóstico das características de desempenho relevantes do parque construído existente;
- Insuficiência do nível de conhecimento técnico a respeito das formas de atuação sistêmica e integrada na gestão de nossas cidades;
- Equipes técnicas pouco capacitadas e com conhecimento desatualizado;
- Inadequação das atuais legislações e normativas urbanísticas para o enfrentamento dos problemas ambientais das cidades brasileiras.

(USP - ESCOLA POLITÉCNICA; ANTAC, 2017)

O relatório ainda aponta a distância entre o meio acadêmico e os agentes de produção como dificultador da difusão das propostas tecnológicas de melhoria, em desenvolvimento nos centros de pesquisa. E propõe 13 desafios para a indústria da construção, dos quais, tendo em vista o presente trabalho, destacam-se:

- **Desafio 1:** Contribuir para a inserção social da população de baixa renda por meio da realização de programas integrados;
- **Desafio 3:** Melhorar as condições de trabalho nos canteiros de obras;
- **Desafio 4:** Desenvolver sistemas industrializados abertos;
- **Desafio 5:** Melhorar a qualidade dos empreendimentos de construção;
- **Desafio 6:** Consolidar grupos de Pesquisa e sua infraestrutura laboratorial;
- **Desafio 7:** Criar mecanismos que apoiem a introdução de inovações no mercado;
- **Desafio 12:** Desenvolver tecnologia de manutenção e reforma (retrofit);
- **Desafio 13:** Planejar, projetar, construir e operar cidades ambientalmente mais sustentáveis.

5.2.3. Tecnologias de Digitalização dos Canteiros de Obras

A seguir serão apresentadas algumas tecnologias que oferecem grandes potenciais de transformação e ganho de produtividade nas atividades ligadas aos canteiros de obras.

5.2.1.1. Fabricação Automatizada



Figura 15 - Estrutura criada em impressora 3D Fonte: Celere

O conceito de pré-fabricação de componentes de obra vem ganhando espaço nos últimos tempos, refletindo a tendência da fabricação automatizada. A fabricação de pré-moldados e o crescente potencial da aplicação de impressoras 3D às demandas vindas diretamente dos canteiros de obras permite a execução das tarefas de obra de maneira mais controlada.

O advento das impressoras 3D permite até mesmo a produção de peças construtivas no local da obra, o que traz a possibilidade de redução de custos e de desperdícios, além do ganho em agilidade no canteiro.

5.2.1.2. Drones

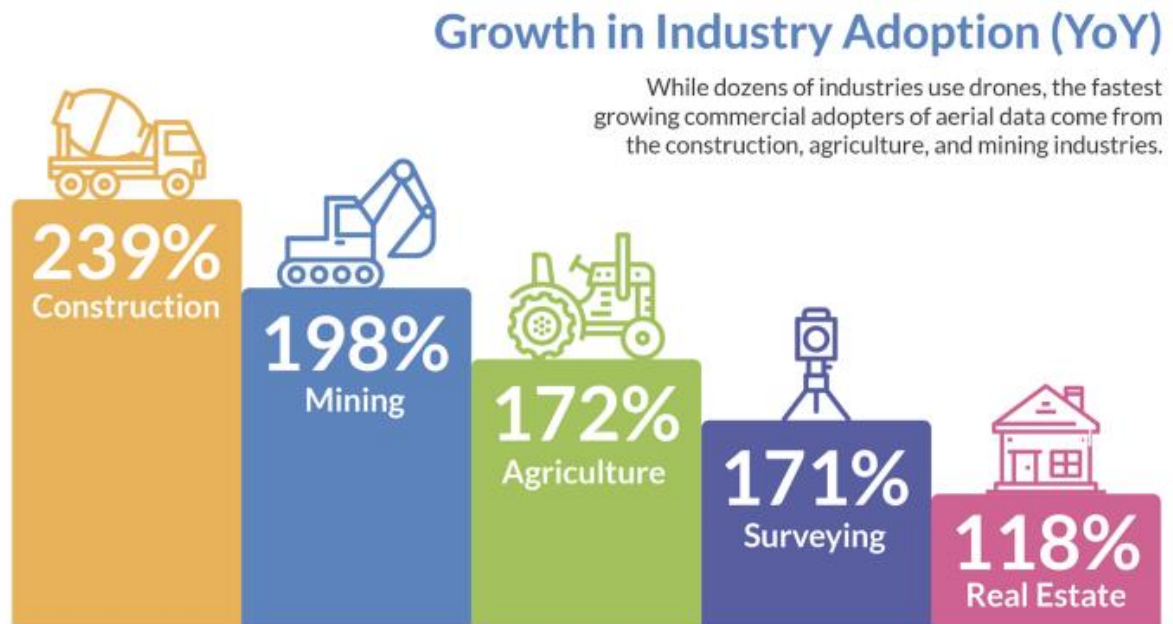


Figura 16 - Crescimento da adoção de drones. Fonte: DroneDeploy⁴

Devido à sua versatilidade foi possível a utilização de drones como equipamentos construtivos, oferecendo mais segurança e controle ao setor. Por meio da captação de imagens e de seu alto alcance, os drones podem ser utilizados para mapeamento de grandes áreas, auxiliando na modelagem da obra, como já vem sendo utilizados, por exemplo, em estudos topográficos, agregando mais agilidade às atividades. Sua aplicação expande-se também para o monitoramento, mesmo que à distância, dos locais de obra, auxiliando na identificação de problemas dentro do canteiro. A Figura 16 apresenta a porcentagem do crescimento da utilização de drones em diferentes indústrias nos últimos anos.

5.2.1.3. Aplicativos

A utilização de aplicativos ligados às atividades relacionadas ao canteiro de obras faz parte do modelo de digitalização idealizado pela Indústria 4.0.

A marca *Engemix*, do Grupo Votorantim, oferece um aplicativo⁵ que oferece maior controle dos seus serviços de concretagem, permitindo aos clientes o monitoramento em tempo

⁴ Disponível em: www.medium.com/aerial-acuity/2018-commercial-drone-industry-trends-70b83e0a2e6f

⁵ Disponível em: www.mapadaobra.com.br/inovacao/app-engemix/

real, via GPS, das betoneiras, com informações de localização, estimativas de tempo de entrega, acompanhamento do volume de concretagem, relatórios, programações futuras e informações de crédito.

O aplicativo *Construct*⁶ promove a interação e colaboração entre engenheiros civis, mestres de obras, empreiteiros, fornecedores, suprimentos, projetos e demais profissionais envolvidos conectando-os a todas as informações ligadas à obra e fornecendo relatórios diários, que são atualizados online. Ricardo Moraes, CEO da Metroll, uma das principais empresas gerenciadoras de Projetos, Suprimentos e Obras na América Latina, relata em seu depoimento ao site da desenvolvedora que “Em todo o ciclo de gerenciamento de projetos, conseguimos reduzir de 25% a 35% o volume de horas trabalhadas, chegando até a 50%, dependendo do tipo de projeto, utilizando o Construct.”.

Através também de aplicativos, os dados coletados nos canteiros podem ser interligados a outros sistemas em rede, permitindo um melhor gerenciamento da obra. De maneira geral, a utilização de aplicativos auxilia na centralização das informações de cada etapa do projeto.

5.2.1.4. Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada dentro da construção civil permite uma visão ampla do futuro empreendimento antes mesmo do início das obras. A associação de sistemas de modelagem, como por exemplo o BIM, à realidade virtual ou realidade aumentada, possibilita uma maior exatidão na visualização das informações do projeto. Tal tecnologia, atrelada às projeções de simulações em ambiente virtual, auxilia na identificação de possíveis falhas de projeto, antecipando futuras intervenções.

Aparelhos medidores, como Tripod Archi, promovem a transformação das medições feitas em campo em plantas 3D que podem ser associadas também a outras tecnologias envolvidas com a reprodução de imagens de projeto via realidade virtual como é o caso do *DAQRI Smart Helmet*, que se trata de um capacete, integrado ao modelo BIM, equipado com uma viseira que permite a visualização de todos os componentes de projeto por meio de uma projeção virtual.

⁶ www.constructapp.io/pt/

5.2.1.5. Sensores Inteligentes

A utilização de sensores vem ganhando cada vez mais espaço dentro da indústria da construção e está diretamente ligada ao conceito de Internet das Coisas. Independente da finalidade última de sua aplicação, os sensores têm a funcionalidade de monitorar, levantar dados da atividade à qual está relacionado e comunicá-los à sua central de dados, permitindo a avaliação em tempo real dos resultados obtidos.

Atualmente já existem os chamados “sensores vestíveis” que podem ser acoplados aos capacetes e uniformes dos trabalhadores, a fim de oferecer maior segurança aos mesmos, evitando impactos acidentais por meio de alertas de aproximação, monitorando temperatura corporal e do ambiente bem como da qualidade do ar.

Para o controle de atividades tradicionais do canteiro de obras já existem sensores destinados à detecção de umidade no solo, sensores que podem ser acoplados às armaduras das estruturas para acompanhar a maturidade do concreto e sua qualidade ao longo do tempo a fim de identificar possíveis inconformidades.

5.2.1.6. Gêmeos Digitais

A representação virtual de objetos e sistemas existentes no mundo físico nomeada “gêmeo digital” promete revolucionar o setor da construção. O conceito é apresentado como “fronteira inspiradora e talvez o próximo passo após o BIM” (Daskalova, Mariela (2018)⁷. Sua criação se dá a partir da instalação de sensores no um objeto real que ao interagirem com tecnologias de análise de dados, inteligência artificial, modelagem 3D e IoT produzem uma cópia virtual completa. Segundo o especialista em Internet das Coisas, Christopher O’Connor, “gêmeo digital” é mais que uma planta, é mais que um diagrama. Não é apenas uma cópia. É muito mais do que um par de óculos de realidade virtual. É uma representação virtual dos elementos e da dinâmica de como um dispositivo de Internet das Coisas responde em todo o seu ciclo de vida”.

A possibilidade da utilização dos gêmeos digitais para o teste de performance e monitoramento de estruturas e materiais, em diferentes contextos, é um dos grandes valores que podem ser acrescentados à construção por essa promissora tecnologia.

⁷Disponível em: <https://cobuilder.com/en/the-digital-twin-a-bridge-between-the-physical-and-the-digital-world>

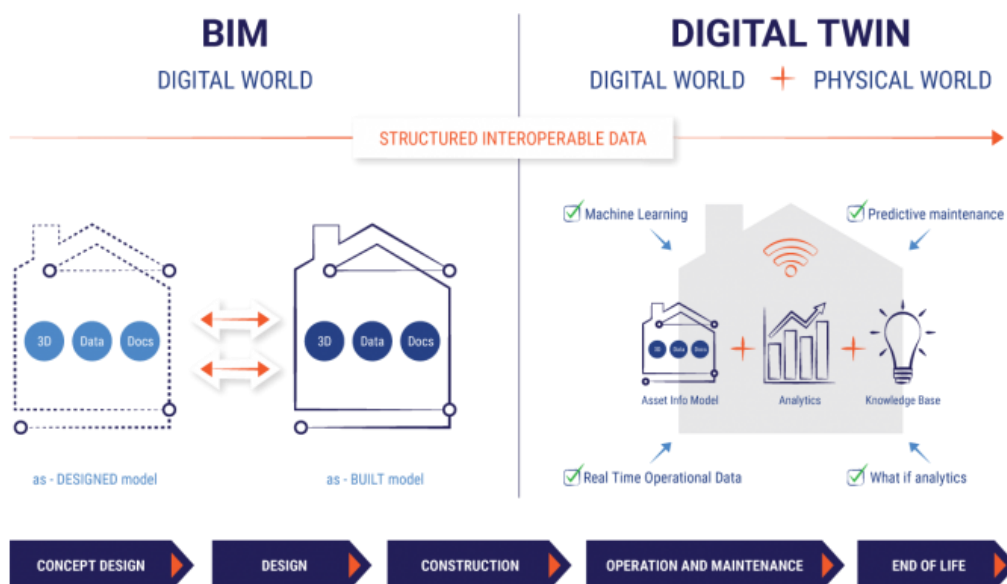


Figura 17 - Estrutura operacional dos Gêmeos Digitais. Fonte: Cobuilder

5.3. Implementação da Indústria 4.0 na Construção Civil

Com base nas estratégias de implementação da Indústria 4.0, já explicitadas no presente trabalho, é possível discutir sua aplicação no processo de transformação digital da indústria da construção civil. Embora, ainda que timidamente, muitas empresas de E&C já estejam adotando princípios desse modelo, elas ainda não conseguem atingir o potencial total dessas ferramentas devido à sua não adequação completa à nova indústria.

É preciso preparar o ambiente do negócio para o recebimento das iniciativas de digitalização, firmando o compromisso da implantação integral de soluções digitais em toda sua cadeia produtiva de maneira estruturada. Transformação cultural, modelo de gestão integrado, alavancas digitais e foco na jornada do cliente são termos que sintetizam o modelo operacional da nova geração e precisam fazer parte da atualização do setor. Além do investimento em soluções tecnológicas, é essencial o investimento em profissionais com visão e habilidades alinhadas à cultura digital.

Os 6 passos para a digitalização da indústria listados pela PwC são também o caminho para uma transformação consistente do setor construtivo. BLANCO et al. (2017) descreve

(Tabela 6) um pouco mais os passos que as companhias de Engenharia e Construção devem seguir durante esse processo de transição.

1	Criação de organização e estratégias digitais	Determinar objetivos de performance e ferramentas de identidade digital que ajudem a alcançá-los
		Definir grupo ou líder que se responsabilize e conduza os resultados
		Analisar sistemas de TI vigentes e determinar se são capazes de suportar as novas ferramentas
		Identificar lacunas e definir linhas do tempo para solucioná-las
2	Transformar projetos em testes de laboratório	Identificar potenciais casos de uso e lançar ferramentas-piloto durante os projetos
		Medir indicadores chave de performance, celebrar sucesso, aprender com erros, incentivar difusão de programas promissores
3	Deixar que os dados indiquem o caminho	Revisar processos fundamentais de Negócio para auxiliar soluções digitais
		Simplificar o processo de pilotagem e implantação de soluções digitais
4	Aumentar investimento em soluções digitais	Contemplar parcerias com empresas de tecnologia
		Identificar potenciais investidores parceiros
		Estabelecer "postos de escuta" dentro da indústria

Tabela 6 - Passos para impulsionar ferramentas digitais em empresas E&C (BLANCO et al., 2017)

A Internet das Coisas (IoT) se apresenta como um componente importante na transformação digital da indústria da construção, promovendo a criação de ambientes de trabalho altamente conectados.

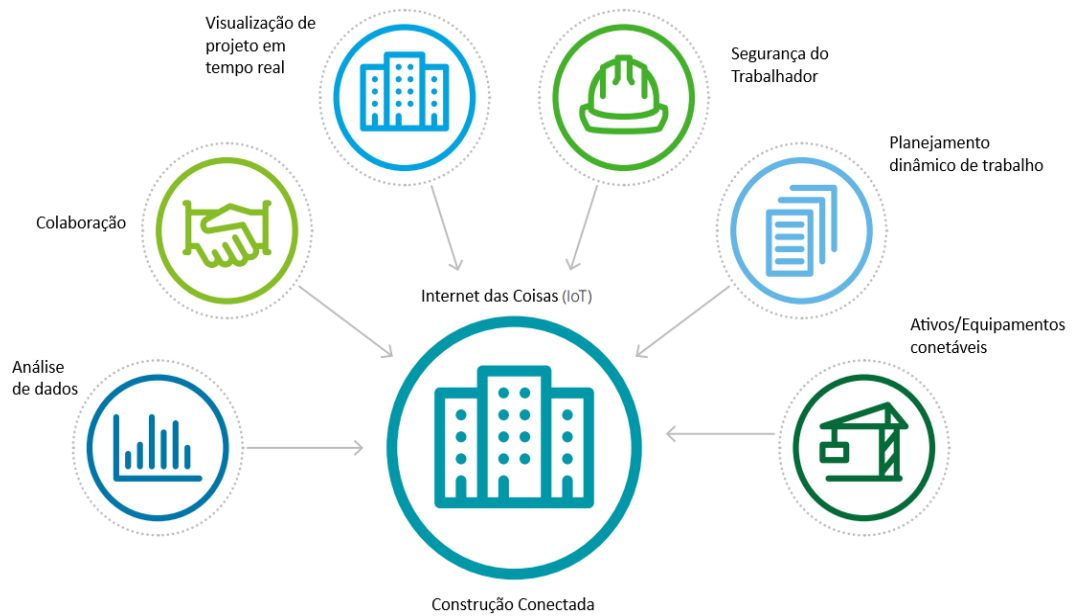


Figura 18 - Construção Conectada (Deloitte)

A Deloitte (2019) estima que o investimento em tecnologias construídas em torno da análise de dados permite a redução de custos em todo o ciclo de vida de vida do projeto. As estimativas de redução são de: 10–30% nas horas de engenharia na etapa de pré-projeto; 5–10% nos custos construtivos, na etapa de construção; 10–20% em custos de operação, durante a etapa de operações e gestão de ativos; 5–10% em custos de descomissionamento.



Figura 19 - Tecnologias de transformação da Indústria E&C (Deloitte)

6. CONCLUSÃO

A Transformação Digital da Indústria da Construção Civil está ligada diretamente a uma mudança de cultura das empresas que atuam no setor, direta ou indiretamente. Para uma atualização nos moldes da Indústria 4.0 é necessário que se eliminem as lacunas entre as partes de sua cadeia de valor. O caminho para a digitalização passa pela consolidação de medidas que promovam uma integração de todo o sistema produtivo, por meio de colaboração, comunicação e conectividade entre os agentes de cada etapa dos processos. O que é alcançado por meio do investimento em tecnologias com diferentes aplicabilidades, mas com o foco comum nos ganhos em produtividade.

À vista dos dados analisados no presente trabalho, para promover os avanços buscados, além de investimentos que impulsionam o desenvolvimento tecnológico, faz-se necessária a definição de normativas que estabeleçam as diretrizes a serem adotadas pelas organizações que desejem promover a transformação digital. Dentro desse contexto é importante salientar a necessidade da formulação de estratégias que partam de um conhecimento profundo das atividades e processos envolvidos dentro do negócio.

Frente às limitações encontradas para a realização desta pesquisa recomenda-se o fomento de estudos científicos que busquem detalhar mais profundamente os aspectos e desafios das empresas para que se adequem aos novos modelos de indústria de modo a garantir competitividade e resultados condizentes com as demandas atuais

7. REFERÊNCIAS

ABIKO, Alex Kenya. Tecnologias apropriadas em construção civil. In: *Tecnologias e materiais alternativos de construção*[S.l: s.n.], 2003.

ASTM, 2015. F2792–12a Standard terminology for additive manufacturing technologies, 2015.

Balaguer, Carlos & Abderrahim, Mohamed. (2008). Trends in Robotics and Automation in Construction.

BARDUCCO, Ana Paula; CONSTÂNCIO, Beatriz. **INDÚSTRIA 4.0: TECNOLOGIAS EMERGENTES NO CENÁRIO DA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUAS APLICABILIDADES**. Orientador: Dr. Oscar Ciro Lopez. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA, [S. l.], 2019.

BLANCO, Jose Luis et al. **The new age of engineering and construction technology**. McKinsey&Company, Capital Projects & Infrastructure, Filadélfia, jul. 2017. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-new-age-of-engineering-and-construction-technology>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

CBCI. Câmara Brasileira da Construção Civil. Catálogo da Construção Civil. Brasília: CBIC, 2016.

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

CORRÊA, Fabiano. **Canteiros do Futuro**. 104. 2017. Disponível em: <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/entrevista/entrevista-fabiano-correa-engenharia-de-construcao-civil-poliusp>>. Acesso em: 22 jan. 2022.

DACOL, Silvana. O Potencial Tecnológico da Indústria da Construção Civil – Uma Proposta de Modelo. Dissertação de Mestrado: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 1996.

DELOITTE. Winning with connected construction. **Digital opportunities in engineering and construction**, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-manufacturing-digital-opportunities-in-engineering-construction.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2021.

DELOITTE. **Winning with connected construction**. In: Digital twins na construção civil. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-manufacturing-digital-opportunities-in-engineering-construction.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

ETAPAS PARA IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0: UMA VISÃO SOB ASPECTOS ESTRATÉGICOS E OPERACIONAIS, XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2017. Disponível em: www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_244_413_33991.pdf. Acesso em: 3 fev. 2022.

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

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

GUPTA, S. (2018) Driving Digital Strategy. Harvard Business Review Press.

HAGEL III, J.; BROWN, J.; KULASOORIYA, D.; GIFFI, C.; CHEN, M. **The future of Manufacturing - Making things in a changing world**. Deloitte University Press, 2015.

Hermann, Mario & Pentek, Tobias & Otto, Boris. (2015). **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**.

IMPACTOS da Indústria 4.0 na Construção Civil brasileira. **Indústria 4.0 e o uso das tecnologias digitais**, Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2018. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos18/18726200.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2021.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. **A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems**. *Manufacturing Letters*, v. 3, p. 18–23, 2015.

Lira Nunez, David & Borsato, Milton. (2015). PANORAMA ATUAL DOS SISTEMAS CIBER-FÍSICOS NO CONTEXTO DA MANUFATURA.

Mapa da Obra. [S. l.], []. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/conteudo/inovacao/>. Acesso em: 15 dez. 2021.

Matt, Christian & Hess, Thomas & Benlian, Alexander. (2015). **Digital Transformation Strategies**. *Business & Information Systems Engineering*. 57. 339-343. 10.1007/s12599-015-0401-5.

MONTEIRO FILHA, Dulce Corrêa; COSTA, Ana Cristina Rodrigues da; ROCHA, Érico Rial Pinto da. Perspectivas e desafios para inovar na construção civil. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 31, p. 353-410, mar. 2010.

PORTO, Gabrielle; KADLEC, Thalita. **MAPEAMENTO DE ESTUDOS PROSPECTIVOS DE TECNOLOGIAS NA REVOLUÇÃO 4.0: UM OLHAR PARA A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Orientador: Prof. Dr. Alfredo Iarozinski Neto. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, [S. l.], 2018.

PORTUGAL, M. A. Como Gerenciar Projetos de Construção Civil. Brasport, 2016
Price Waterhouse Coopers Brasil LTDA. (2016) **Indústria 4.0: Digitalização como vantagem competitiva no Brasil**. Disponível em:
<https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/servicos/assets/consultoria-negocios/2016/pwcindustry-4-survey-16.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2021.

RIBEIRO, Douglas. **Tecnologias advindas da Indústria 4.0 aplicada na construção civil: efeitos e desafios da implantação no Brasil**. Orientador: Prof. D.Sc. Paulo Marcos De Barros Monteiro. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, [S. l.], 2019.

SOFTWARES para construção civil que você precisa conhecer. [S. l.], 2019. Disponível em:
<https://www.globaltec.com.br/2019/04/11/10-sofwarees-para-a-construcao-civil-que-voce-precisa-conhecer/>. Acesso em: 15 dez. 2021.

Stuart J. R.; Norving, P. **Artificial Intelligence – A modern Approach**. Pearson Education, Inc. Second Edition, New Jersey, New York, USA, 2003.

THE ‘DIGITAL twin’ – a bridge between the physical and the digital world. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://cobuilder.com/en/the-digital-twin-a-bridge-between-the-physical-and-the-digital-world>. Acesso em: 3 fev. 2022.

UGULINO, Janilton Maciel. **A 4a Revolução Industrial Transformando a Construção Civil**. 2017.

USP - ESCOLA POLITÉCNICA; ANTAC. **Estratégias para a formulação de Política de Ciência, Tecnologia e Inovação para a indústria da Construção Civil**. Ciência e Tecnologia para a Inovação na Construção, CBIC, 2017.