

Aplicações da Indústria 4.0 na Construção Civil – Uma Revisão Narrativa

Carlos Eduardo da Silva Ramos (Universidade Federal Fluminense) cesramos@id.uff.br
Leandro Ferreira Pacheco Rodrigues (Universidade Federal Fluminense) leandro_rodrigues@id.uff.br
Luiz Carlos Brasil de Brito Mello (Universidade Federal Fluminense) luiz.brasil@gmail.com

Resumo:

A presente crise econômica que vem assolando a economia brasileira nos últimos anos faz com que as empresas necessitem de verdadeiros malabarismos para se manterem ativas e competitivas dentro de um mercado cada vez mais exigente. Diante disso, buscou-se trazer para a indústria da construção civil algumas aplicações já existentes relacionadas a quarta revolução industrial, também chamada de indústria 4.0, buscando principalmente o aumento da produtividade da mão de obra e a redução dos desperdícios, aumentando, assim, o lucro. O presente artigo buscou, por meio de uma revisão narrativa da literatura existente, discorrer sobre as aplicações da indústria 4.0 na construção civil, apresentando as principais aplicações. Ao final da pesquisa concluiu-se que existe uma alta resistência à introdução dessas novas técnicas e aplicações na indústria da construção civil, por este ser um meio bastante tradicional. Apesar dessa alta resistência, encontraram-se casos de sucesso na implantação das aplicações aqui apresentadas.

Palavras chave: Indústria 4.0, Construção Civil, BIM.

Industry 4.0 Applications in Construction - A Narrative Review

Abstract

The present economic crisis that has been plaguing the Brazilian economy in the last years makes the companies make real juggles to stay active and competitive in an increasingly demanding market. In view of this, it was sought to bring to the civil construction industry some existing applications related to the fourth industrial revolution, also called industry 4.0, mainly seeking to increase labor productivity and reduce waste, thus increasing the profit. The present article sought, through a narrative review of the existing literature, to discuss the applications of industry 4.0 in civil construction, presenting the main applications. At the end of the research it was concluded that there is a high resistance to the introduction of these new techniques and applications in the construction industry, because this is a very traditional medium. In spite of this high resistance, there were cases of success in the implementation of the applications presented here.

Key-words: Industry 4.0, Civil Construction, BIM.

1. Introdução

A primeira revolução industrial teve como tecnologia inovadora os teares mecânicos, cuja força motriz era os motores a vapor, que propiciaram a partir de 1780, na Inglaterra, uma mudança significativa na capacidade de produção de tecidos. A produção caseira foi substituída progressivamente por fábricas com centralização produtiva, elevando-se significativamente a produtividade (SCHUH, 2015). Em seguida surgiu a segunda revolução

industrial introduzindo o uso de eletricidade e posteriormente a terceira revolução industrial trazendo o uso da computação (LASI *et al*, 2014).

Nota-se que, ao contrário das três revoluções antecessoras, a Indústria 4.0 ou a quarta revolução industrial seria a única concebida através de um esforço conscientemente prosseguido antes da sua chegada real através de colaborações conjuntas entre agências governamentais, indústria, pesquisa e instituições acadêmicas. A Alemanha e os EUA estão claramente na liderança para provocar a próxima evolução em aplicações tecnológicas (REIS; HEIDRICH; FACÓ, 2017).

O conceito de "Indústria 4.0" foi formalmente apresentado na Expo Industrial de Hannover em abril de 2013, sendo definido como a revolução acerca da internet das coisas, serviços de fabricação e outras tecnologias que integram uma rede virtual com entidades físicas (LI *et al*, 2016)

O tema é um dos tópicos mais discutidos ultimamente, como apontado por Hermann, Pentek e Otto (2016). Este interesse pelo assunto se iniciou após o governo alemão anunciar em 2011 a Indústria 4.0 como uma iniciativa estratégica com o objetivo de reposicionamento frente a tecnologias de ponta e competitividade para as suas indústrias (KAGERMANN *et al*, 2013). A proposta alemã é suportada na ideia de que a Indústria 4.0 será parte integrante da estratégia de alta tecnologia para que em 2020 a Alemanha lidere este movimento de inovação tecnológica.

A Indústria 4.0 é vista também por Baur e Wee (2015) como a próxima fase da manufatura aplicando em seus processos a digitalização, impulsionada por quatro tecnologias: i) aumento do volume de dados por capacidade computacional e a conectividade; ii) a capacidade da análise de dados por setores de inteligência de mercado; iii) as novas formas de interagir no ambiente de trabalho entre homem e máquina e, iv) a melhoria de transferência de comandos digitais para o meio físico.

O ponto principal da Indústria 4.0 está na interface com outras infraestruturas inteligentes, como mobilidade inteligente, rede inteligente, logística inteligente e construções inteligentes, inovações a serem incorporadas nos processos produtivos para gerar valor ao cliente. A segunda, integração horizontal através de redes de cadeia global de valor, decorre do fato da integração facilitar a criação e manutenção de redes que criam e agregam valor de forma ampla. Não se limita somente à integração horizontal entre parceiros de negócios e clientes, mas sim possibilita ainda a integração com os novos modelos de negócios de países por todo o mundo, formando uma rede global.

2. Indústria 4.0 e a Construção Civil

A Indústria 4.0 é uma estratégia de alta tecnologia que descreve a crescente digitalização e automação do ambiente de fabricação, bem como a criação de cadeias digitais de valor para permitir a comunicação entre produtos, ambiente e parceiros comerciais (LASI *et al*, 2014). Embora originalmente aplicada à indústria de fabricação, a transformação digital da era 4.0 está mudando o setor de construção, porém de forma muito lenta.

A indústria da construção civil enfrenta diferentes obstáculos para aumentar a produtividade. Por exemplo, altos números de processos interrelacionados, subprocessos e atores participantes em diferentes fases e em diferentes locais de construção, além da particularidade e complexidade de seus projetos (DUBOIS; GADDE, 2002). Essa complexidade leva a altos níveis de incerteza na indústria. Projetos de construção geralmente são únicos, com tempos limitados, exigem altos graus de personalização e, em parte, são realizados no local, que é

altamente influenciado pelas condições climáticas (DUBOIS; GADDE, 2002). Além disso, devido à natureza da condição temporária da construção, os projetos e as especificações técnicas para os processos e materiais são pouco padronizados (DUBOIS; GADDE, 2002).

Outro desafio específico para a indústria da construção é a sua fragmentação na cadeia de suprimentos, que consiste em múltiplas empresas de pequeno e médio porte que exigem um grande esforço de coordenação (ARAYICI; COATES, 2012). Além disso, as Pequenas e Médias Empresas têm geralmente capacidades limitadas para investir em tecnologias (KRAATZ; HAMPSON; SANCHEZ, 2014). Hoje, estudos realizados por Agarwal, Chandrasekaran e Sridhar (2016) demonstram que apenas uma fração das empresas de construção faz uso total das ferramentas de planejamento digital.

Para superar esses desafios, quatro chaves para a transformação digital são consideradas decisivas: dados digitais, automação, conectividade e acesso digital. Outros estudos mostram que os esforços gerenciais na construção civil em relação à transformação digital são subdesenvolvidos. Além disso, os esforços de pesquisa estão aquém da atenção que a Indústria 4.0 recebe em outros campos de fabricação (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

O termo Indústria 4.0 compreende uma variedade de tecnologias que permitem o desenvolvimento de um sistema digital e automatizado no ambiente de produção, bem como a digitalização do valor da cadeia (LASI *et al*, 2014). Isso resulta em melhorias na qualidade do produto e diminuição do *time-to-market*, bem como melhorias no desempenho das empresas (BRETTEL *et al*, 2014).

Dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2018) citam como exemplos das mudanças de paradigma relacionadas a indústria 4.0 o compartilhamento digital de informações, a produção digital (impressoras 3D e customização em massa), a automatização de processos mentais e a coleta de dados por sensores. Já entre as tecnologias emergentes, tem-se a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial (AI), a manufatura aditivada, a realidade aumentada, a análise de Big Data e o Building Information Modeling (BIM) – sendo esta última a tecnologia com maior probabilidade de aplicação e impacto futuro na construção. Como resultado, toda essa revolução traduz-se em maior flexibilidade, velocidade de produção, qualidade do produto, produtividade, participação do cliente, além do surgimento de novos modelos de negócio. Neste artigo optou-se por abordar apenas dois destes conceitos: O *Building Information Model* (BIM) e a Internet das Coisas (IoT).

O *Building Information Model* (BIM) é considerado a tecnologia central para digitalização do ambiente de construção (LI *et al*, 2017). Succar (2009) define o BIM como um conjunto inter-relacionado de políticas, processos e tecnologias, que geram métodos de gerenciamento dos projetos essenciais de uma edificação, assim como os dados referentes ao empreendimento em formato digital, em todo o seu ciclo de vida. A Figura 1 ilustra o conceito apresentado.

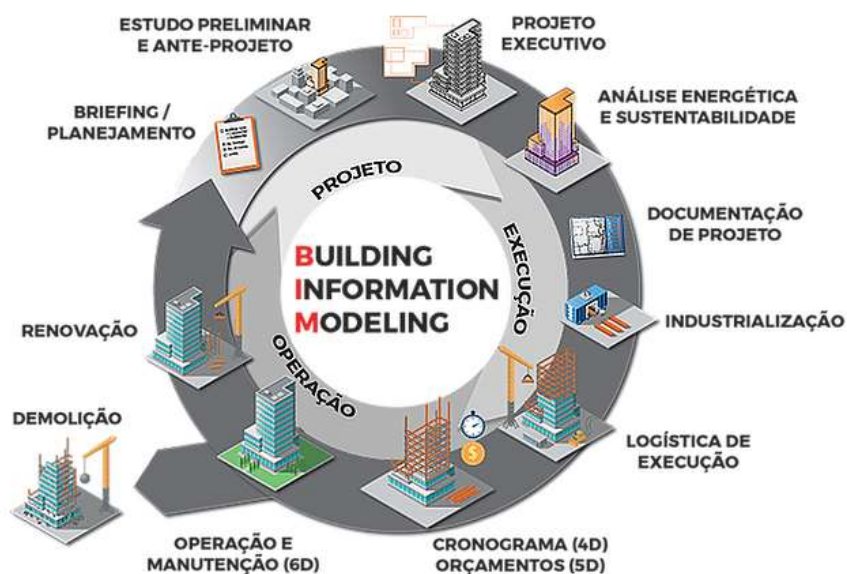


Figura 1: Representação visual do conceito BIM

Fonte: Martini (2018)

O BIM surgiu, principalmente, a partir de uma necessidade de representação constituída pela associação de elementos individuais, uma modelagem orientada por objetos. O BIM é considerado a evolução tecnológica das ferramentas CAD. Até então, os elementos eram constituídos por um conjunto de linhas e textos, sem qualquer significado semântico, de forma que jamais poderiam associados como um todo (EASTMAN *et al.* 2011).

A principal diferença entre o BIM e o CAD 3D é que este último descreve uma construção em modelos 3D independentes e desconexos como planos, seções e elevações. A edição de qualquer um desses modelos exige que todos os outros sejam revistos e atualizados para acompanhar a edição feita em primeiro lugar, um processo bastante suscetível a erros que é a principal causa da baixa qualidade de projetos. Mais além, mesmo que em 3D, os objetos não passam de representações gráficas, substancialmente mais simples que a inteligência semântica contextual de modelos BIM onde cada elemento apresenta características e comportamento semelhantes à sua contrapartida física. (AZHAR; KHALFAN; MAQSOOD, 2012)

Assim, num edifício representado em um modelo BIM ocorre o projeto paramétrico no qual ao invés de se desenhar uma parte de um edifício como uma porta ou parede o projetista pode definir uma família modelo ou uma classe para o elemento que são um conjunto de regras e relações que controlarão os parâmetros pelos quais o elemento do projeto será gerado. Cada parâmetro específico varia em seu próprio contexto. Assim, objetos são definidos a partir de distâncias, ângulos e regras como posição e relação com outro objeto (se está conectado a outro elemento, por exemplo) (EASTMAN *et al.* 2011).

De maneira alternativa, os parâmetros podem ser definidos como critérios a serem respeitados garantindo assim vários requerimentos a serem atendidos. Isso garante o atendimento de especificações técnicas, pois o projetista pode realizar quaisquer alterações enquanto os critérios são seguidos. No caso de requerimentos não atendidos haverá avisos indicando que as definições iniciais não foram observadas. A modelagem paramétrica baseada em objetos permite as duas interpretações (EASTMAN *et al.* 2011). Toda a abstração do projeto de um edifício além da sua compatibilização, que antes eram baseados em representações

bidimensionais em um processo de trabalho associado às ferramentas CAD, no BIM são representados por modelos geométricos tridimensionais, ricos em informações da construção em questão (RUSCHEL *et al.* 2013).

Outro grande benefício associado ao uso da tecnologia é a possibilidade de ser utilizada mesmo após a finalização da construção. Um modelo BIM compreende todo o ciclo de vida do empreendimento. Esses dados podem ser utilizados pelos gerentes da instalação na operação e manutenção, garantindo maior eficiência. Estudos indicam que grande parte do custo de uma instalação consiste em sua manutenção, e estes custos poderiam ser mitigados a partir de uma interpretação mais precisa do projeto (AZHAR; KHALFAN; MAQSOOD, 2012).

Mais do que uma tecnologia, o BIM pode ser visto como um processo virtual que envolve todos os aspectos, disciplinas e sistemas de uma instalação em um único modelo virtual permitindo que todos os interessados (donos, engenheiros, empreiteiros, arquitetos, contratantes entre outros) possam colaborar com uma precisão e eficiência maiores do que os processos tradicionais (AZHAR; KHALFAN; MAQSOOD, 2012). As fundações do BIM consistem de dois pilares: comunicação e colaboração. O sucesso na sua implementação requer o envolvimento, desde a sua concepção, de todos os colaboradores. Isso significa que métodos já tradicionais consagrados (como o projeto – licitação – construção) têm um papel limitado em projetos envolvendo BIM. Isso deixa claro que o BIM não é apenas um software; é também um processo, de forma que não representa apenas o uso de modelos inteligentes em 3D, mas também mudanças significativas no fluxo de trabalho (AZHAR; KHALFAN; MAQSOOD, 2012).

Sintetizando tudo isso, pode-se dizer ainda que o BIM não envolve apenas a utilização de novos *softwares* ou novas tecnologias. Requer uma forma diferente de pensamento e abordagem na intervenção do projeto e na entrega do mesmo. Fundamental à essa ideia é a necessidade de passar de uma abordagem tradicional dos participantes do projeto, que trabalham em níveis distintos de informação, não raro fazendo o uso de *softwares* diferentes e incompatíveis, para uma nova plataforma totalmente integrada onde todos os participantes possam partilhar o trabalho e informações não só de forma compatível como inteligível (ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS, 2013).

Diversos elementos da indústria da construção (engenharia, arquitetura, estimativa, construção e operações) levantaram questões significativas referentes às limitações relacionadas a ferramentas de projeto em duas dimensões e ferramentas baseadas em entidades. Ainda há pouco, esses problemas foram mostrados sob diversas perspectivas e geraram uma substancial variedade de argumentos polêmicos. Esses argumentos contemplam mais conteúdos técnicos do que teóricos (OLATUNJI, 2011).

De maneira mais específica, estudos abordam limitações tais como espacialidade (JEREB, 2009), enquanto que outros associam essas limitações a fraquezas no atendimento ao cliente e facilitação de objetivos na construção, incluindo a falta da visualização virtual completa do projeto e de sistemas integrados fornecendo troca de informações durante toda a vida do empreendimento construtivo (JENG; EASTMAN, 1998).

Além disso, evidências apontavam, em um passado recente, limitações inequívocas em *softwares* CAD baseados em entidade, incluindo a impossibilidade de garantir a comunicação entre os níveis diferentes de usuários (projetistas, construtores, entre outros), integração de valores e colaboração completa entre as diversas equipes de projetos (MCKINNEY; FISCHER, 1998).

Assim, o BIM vem sendo desenvolvido de forma a implementar uma revolução, potencialmente radical na indústria, e isso vem sendo adotado em diferentes padrões de diversas regiões do mundo. Esse conceito vem se mostrando uma alternativa trabalhável e uma nova ferramenta promissora que evoluiu a partir de metodologias já consagradas e informatizadas (OLATUNJI, 2011).

O BIM auxilia na aproximação entre a indústria da construção e outras indústrias relacionadas que utilizam um conceito de tecnologia similar, ainda que para fins e produtos singulares (OLOFSSON; LEE; EASTMAN, 2008).

Além do BIM, outra tecnologia relevante da indústria 4.0 que pode ser aplicada à construção civil é a que se baseia no conceito de *Internet of Things* – IoT – em português Internet das Coisas. A Internet das Coisas pode ser entendida como a rede ubíqua e global que ajuda e provê a funcionalidade de integrar o mundo físico. Isso se dá por meio da coleta, do processamento e da análise de dados gerados pelos sensores da IoT, que estarão presentes em todas as coisas e se integrarão por meio da rede pública de comunicação (ALBERTIN; ALBERTIN, 2017). Essa interconexão de dispositivos na internet, chamada Internet das Coisas, possibilitará que tais dispositivos sejam utilizados remotamente por humanos ou até mesmo por outros dispositivos (TAN; WANG, 2010). Segundo Tan e Wang (2010), desta maneira a Internet das Coisas é uma nova forma de tecnologia da informação e da comunicação que se difere do habitual, onde pessoas se comunicam com outras pessoas pois agora as coisas também poderão se comunicar com as pessoas e com outros dispositivos. (TAN; WANG, 2010).

De acordo com Kabisch e Anicid (2016), os grandes desafios da IOT na atualidade estão associados a silos de dados, interoperabilidade entre as coisas, descoberta automática de recursos e dispositivos, além da interpretação precisa de dados da IOT. Gupta e Gupta (2016) citam ainda como desafios da IOT: armazenamento e recuperação de dados, independência humana, privacidade e segurança e conectividade.

Dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE (2018) apontam que a utilização da Internet das Coisas (IoT) é uma tendência concreta na construção civil. Dentre as diversas aplicações relacionadas a Internet das Coisas na indústria da construção civil, tem-se a utilização de etiquetas de RFID (*Radio Frequency Identification*) que é um método de identificação automática através de sinais de rádio, que permite o gerenciamento de materiais no canteiro, inclusive evitando perdas e desperdícios (PEREIRA, 2012) e a tecnologia de *ultra wideband*, uma espécie de sistema GPS para ambientes fechados que permite o rastreamento de equipes de trabalho para o melhor gerenciamento de pessoal em obra (ARCO, 2017).

Outro grande campo para a aplicação da Internet das Coisas na indústria da construção civil é o monitoramento da saúde estrutural das estruturas, por meio do desenvolvimento e do uso de algoritmos de processamento de dados e o desenvolvimento de sensores interligados a uma rede (SONG; WANG; WANG, 2017). Segundo Wang, Fu e Yang (2017), estes sensores são fixados nos locais cruciais da estrutura para adquirir dados que reflitam seu estado de estresse e saúde e, posteriormente, transmiti-los por meio de redes sem fio.

Também pode-se aplicar o conceito no monitoramento QSMS das equipes de trabalho. É possível fazer o monitoramento dos dados médicos das equipes de trabalho, podendo agir com celeridade em caso de alteração dos parâmetros de saúde (ZHANG *et al.*, 2018).

Segundo Mano *et al.* (2016), a Internet das Coisas pode ser utilizada ainda para a detecção que quedas, caso que na indústria da construção é bastante preocupante devido às equipes que trabalham em altura. A detecção é feita por meio de múltiplos sensores (acelerômetro e giroscópio) instalados no corpo ou no ambiente que permitem a análise de diversos movimentos e sua transmissão por meio de redes sem fio.

3. Metodologia

Os artigos de revisão, assim com outras categorias de artigos científicos, são uma forma de pesquisa que utilizam fontes de informações bibliográficas ou eletrônicas para obtenção de resultados de pesquisas de outros autores, com o objetivo de fundamentar teoricamente um determinado objetivo (ROTHER, 2007). Cook, Mulrow e Haynes (1997) destacam que a revisão bibliográfica pode ser narrativa ou sistemática. O primeiro tipo é baseado em uma descrição simplificada de estudos e informações sobre um determinado assunto. O segundo tipo, apesar de também ter o caráter narrativo, é baseado na aplicação de métodos com maior rigor científico, podendo alcançar melhores resultados e reduzir erros e o viés do pesquisador responsável pela investigação. Esse processo permite ao pesquisador compilar dados, refinar hipóteses, estimar tamanho de amostras, definir melhor o método de pesquisa a ser adotado para aquele problema, e por fim definir direções para futuras pesquisas (COOK; MULROW; HAYNES, 1997). A Tabela 1 faz uma comparação da revisão narrativa com a revisão sistemática.

	Revisão Narrativa	Revisão Sistemática
Questão	Ampla	Específica
Fonte	Frequentemente não-especificada, potencialmente com viés	Fontes abrangentes, estratégia de busca específica
Seleção	Frequentemente não-especificada, potencialmente com viés	Seleção baseada em critérios aplicados uniformemente
Avaliação	Variável	Avaliação criteriosa e reprodutível
Síntese	Qualitativa	Quantitativa

Fonte: Cook, Mulrow e Haynes (1997)

Tabela 1: Comparação revisão narrativa x revisão sistemática

Através da pesquisa foi feita uma revisão narrativa sobre as aplicações da indústria 4.0 na construção civil. Para isto buscou-se nas principais fontes de consulta (CAPES, *Research Gate* e *Science Direct*) e também em universidades brasileiras e estrangeiras, organizações técnicas, organizações governamentais e instituições privadas artigos que contivessem as seguintes palavras chaves: “indústria 4.0”, “construção civil”, “BIM”, “tecnologia digital”.

4. Conclusões

No decorrer da pesquisa foram observadas diversas aplicações da indústria 4.0 que podem ser aplicadas ao setor da construção civil. Entretanto, foram abordados neste artigo apenas dois destes conceitos: BIM e Internet das Coisas. O BIM por ser atualmente a mais difundida aplicação da indústria 4.0 na construção civil a nível mundial, mesmo sendo incipiente no Brasil e a Internet das Coisas por ser uma solução promissora para diversos problemas cotidianos que ocorrem na construção civil, com foco principalmente no alto desperdício de materiais e na baixa produtividade da mão de obra, comumente encontrada no setor.

Verificou-se que ainda existe uma alta resistência à introdução dessas novas técnicas e aplicações na indústria da construção civil, principalmente por ser uma indústria muito arraigada à tradição. Apesar dessa alta resistência, encontraram-se casos de sucesso na implantação das aplicações aqui apresentadas. Como recomendações para artigos e trabalhos futuros, sugere-se ampliar a gama de aplicações a serem estudadas, focando também em Big Data e impressoras 3D, mostrando também os principais desafios na sua implementação e as principais vantagens advindas desta. Recomenda-se ainda a busca de cases de sucesso relativos a implementação destas aplicações na indústria brasileira.

Referências

- ALBERTIN, A. L.; ALBERTIN, R. M. M.** *A Internet das Coisas Irá Muito Além das Coisas*. GVEXECUTIVO, [s.l.], v. 16, n. 2, p.12-17, abr. 2017.
- ARAYICI, Y.; COATES, P.** *A System Engineering Perspective to Knowledge Transfer: A Case Study Approach of BIM Adoption*. Virtual Reality - Human Computer Interaction, [s.l.], p.179-206, set. 2012.
- ARCO.** *Canteiros do Futuro*. Disponível em: <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/entrevista/entrevista-fabiano-correa-engenharia-de-construcao-civil-poliusp>>. Acesso em: 04 jul. 2018.
- AGARWAL, R.; CHANDRASEKARAN, S.; SRIDHAR, M.** *Imagining construction's digital future*. 2016. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future>>. Acesso em: 27 set. 2018.
- AZHAR, S.; KHALFAN, M.; MAQSOOD, T.** *Building information modelling (BIM): now and beyond*. Australasian Journal Of Construction Economics And Building, [s.l.], v. 12, n. 4, p.15-28, dez. 2012.
- BAUR, C.; WEE, D.** *Manufacturing's next act*. 2015. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>>. Acesso em: 26 set. 2018.
- BRETTEL, M. et al.** *How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an industry 4.0 perspective*. International Journal of Information and Communication Engineering, [s.l.], v. 8, n. 1, p.37-44, 2014.
- CBIC.** *CBIC Hoje: Indústria 4.0 e o futuro da construção são discutidos em reunião da Comat/CBIC*. 2018. Disponível em: <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2018/06/CBIC-HOJE-14.06.2018-1.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2018.
- COOK, D. J.; MULROW, C. D.; HAYNES, R. B.** *Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions*. Annals of Internal Medicine, v.126, n.5, pp.376-380, 1997
- DUBOIS, A.; GADDE, L.** *The construction industry as a loosely coupled system: implications for productivity and innovation*. Construction Management And Economics, [s.l.], v. 20, n. 7, p.621-631, out. 2002.
- EASTMAN, C. et al.** *Bim Handbook - A Guide To Building Information Modeling For Owners Managers Designers Engineers And Contractors*. 2. ed. [s.l.]: Wiley, 2011.
- GUPTA, R.; GUPTA, R.** *ABC of Internet of Things: Advancements, benefits, challenges, enablers and facilities of IoT*. 2016 Symposium On Colossal Data Analysis And Networking (cdan), [s.l.], p.1-5, mar. 2016.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B.** *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*. 2016 49th Hawaii International Conference On System Sciences (hicc), [s.l.], p.1-16, jan. 2016.
- JENG, T. S.; EASTMAN, C. M.** *Design process management*. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 55-67, jan. 1998.
- JEREB, B.** *Software describing attributes*. Computer Standards & Interfaces, [s.l.], v. 31, n. 4, p.653-660, jun. 2009.
- KABISCH, S.; ANICIC, D.** *Thing Description as Enabler of Semantic Interoperability on the Web of Things*. IoT Semantic Interoperability Workshop, 2016.
- KAGERMANN, H. et al.** *Recommendations for Implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 working group*. Forschungsunion, 2013

KRAATZ, J.; HAMPSON, K.; SANCHEZ, A. *The global construction industry and R&D*. In: HAMPSON, K. D.; KRAATZ, J. A.; SANCHEZ, A. X. (Ed.). *R&D Investment in the global construction industry*. Londres: Routledge, 2014. p. 4-23.

LASI, H. et al. *Industry 4.0*. *Business & Information Systems Engineering*, [s.l.], v. 6, n. 4, p.239-242, 19 jun. 2014.

LI, J.; YANG, H. *A Research on Development of Construction Industrialization Based on BIM Technology under the Background of Industry 4.0*. *Matec Web Of Conferences*, [s.l.], v. 100, p.2046-2053, 2017.

MARTINI, G. *BIM e as Políticas Públicas do Brasil*. 2018. Disponível em: <<https://www.gmarquiteturaengenharia.com/single-post/2018/03/10/BIM-E-AS-POLITICAS-P%C3%9ABLICAS-DO-BRASIL>>. Acesso em: 27 set. 2018.

MCKINNEY, K.; FISCHER, M. *Generating, evaluating and visualizing construction schedules with CAD tools*. *Automation In Construction*, [s.l.], v. 7, n. 6, p.433-447, set. 1998.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. *Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry*. *Computers In Industry*, [s.l.], v. 83, p.121-139, dez. 2016.

OLATUNJI, O. A. *A Preliminary Review on the Legal Implications of BIM and Model Ownership*. *ITcon*, [s.l.], v. 16, p. 687-696, mai. 2011.

OLOFSSON, T.; LEE, G.; EASTMAN, C. *Editorial - Case Studies Of Bim In Use*. *ITcon*, [s.l.], v. 13, p. 244 - 245, jun. 2008.

PEREIRA, S. L. *Avaliação da Modernização Portuária no Desenvolvimento da Cidade do Rio de Janeiro*. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

REIS, C.; HEIDRICH, F.; FACÓ, J. *O Impacto Competitivo na Indústria Brasileira com a Aplicação dos Conceitos da Indústria 4.0*. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 20., 2017, São Paulo. Anais.... São Paulo: FGV, 2017. p. 1 - 14.

ROTHER, E. T. *Revisão sistemática X revisão narrativa*. *Acta Paulista de Enfermagem*, [s.l.], v. 20, n. 2, p.5-6, jun. 2007.

ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS. *International BIM implementation guide*. Londres: Royal Institution Of Chartered Surveyors, 2013.

RUSCHEL R. C. et al. *O papel das ferramentas BIM de integração e compartilhamento no processo de projeto na indústria da construção civil*. *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 7, n. 3, p. 36 – 54, 2013.

SCHUH, G. et al. *Hypotheses for a Theory of Production in the Context of Industrie 4.0*. In: *Advances in Production Technology*. Springer International Publishing, p.11-23, 2015.

SEBRAE. *Relatório de Inteligência: Internet das Coisas (IoT)*. 2018. Disponível em: <<https://sebraeinteligenciasetorial.com.br/produtos/relatorios-de-inteligencia/internet-das-coisas-iot/5b8d3a00d4f78d1a00f95df3#download>>. Acesso em: 10 out. 2018.

SONG, G.; WANG, C.; WANG, B. *Structural Health Monitoring (SHM) of Civil Structures*. *Applied Sciences*, [s.l.], v. 7, n. 8, ago. 2017.

SUCCAR, B. *Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*. *Automation in Construction*, v.18 n.3, p.357-375, 2009.

TAN, L.; WANG, N. *Future Internet: The Internet of Things, Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*. 3rd International Conference. vol. 5, 2010.

WANG, J.; FU, Y.; YANG, X. *An integrated system for building structural health monitoring and early warning based on an Internet of things approach*. *International Journal Of Distributed Sensor Networks*, [s.l.], v. 13, n. 1, p.1-14, jan. 2017.

ZHANG, W. et al. *Medical data fusion algorithm based on Internet of things*. *Personal And Ubiquitous Computing*, [s.l.], jun. 2018.