



Revisão de literatura em inovações tecnológicas da indústria da construção

SANTOS, Rafael¹; MIRANDA JUNIOR², Hamilton

¹Pós-graduando em Planejamento, Gestão e Controle de Obras Civas, NPPG/POLI – UFRJ

²Professor Titular – Centro Universitário La Salle do Rio de Janeiro

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 04 Nov 2019

Revisão: 08 Nov 2019

Aprovação: 20 out 2020

Palavras-chave:

Indústria 4.0

Indústria da construção

Inovações tecnológicas

Resumo:

O objetivo deste artigo é mapear e identificar tecnologias e inovações para a indústria da construção brasileira. A metodologia utilizada no presente estudo foi realizada a partir de uma revisão de literatura envolvendo análise qualitativa e dados bibliométricos de 123 artigos da base Scopus. A partir desta pesquisa foi possível desenvolver uma matriz agrupada por área tecnológica, contemplando os títulos dos artigos, os escopos da pesquisa, os autores e o ano de publicação, podendo ser utilizada como base para estudos futuros. Também foram desenvolvidos dois mapas mentais, um referente a ligação da Construção 4.0 e campos de inovações tecnológicas, e outro relacionado a integração dos campos de inovações tecnológicas ligados a Indústria 4.0. O estudo realizado apresentou limitações quanto a amostra, sendo somente utilizada a base Scopus. Este estudo permite contribuir com a modernização da cadeia produtiva da indústria da construção. O uso de novas tecnologias proporciona uma verdadeira revolução na sociedade, permitindo ações antes inimagináveis e beneficiando a qualidade de vida das pessoas. Devido à sua característica, este estudo também levanta a consciência entre governos e empresas sobre os pontos fracos identificados no tocante as inovações. Os artigos da pesquisa da base Scopus apresentam fontes de alta confiabilidade e relevância para pesquisadores. A pesquisa pode contribuir e impactar a melhoria da qualidade dos produtos e serviços gerados pela indústria da construção, inclusive saúde, segurança das partes interessadas no objeto de pesquisa.

1. Introdução

Nos últimos anos, a indústria 4.0 foi introduzida como um termo popular para descrever a tendência para a digitalização e automação do ambiente de fabricação. Apesar de seus benefícios potenciais em termos de melhorias na produtividade e qualidade, este conceito não ganhou muita atenção na indústria da construção [1]. A indústria 4.0 foi considerada uma nova etapa industrial na qual várias tecnologias

emergentes estão convergentes para fornecer soluções digitais [2]. Produtos inteligentes e interligados estão transformando a indústria. A construção é um exemplo paradigmático de transformação digital incorporando sistemas para melhorar a segurança e a produtividade [3]. A revolução digital deve desempenhar um papel decisivo na transformação da indústria da construção, abrindo novos mercados, criando novos produtos e aumentando sua produtividade e eficiência [4].

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), o Brasil, o conceito da indústria 4.0 ainda é desconhecido e o baixo crescimento desta evolução impede a sua utilização neste país. Em pesquisa com todas as indústrias brasileiras, apenas 48% delas utilizam pelo menos uma tecnologia, o percentual cresce para 63% em grandes empresas e cai para 25% em pequenas empresas [5]. De acordo com a Câmara Brasileira da Construção Civil, uma forma de melhorar as condições de trabalho, produtividade e reduzir custos é a implantação da indústria 4.0 e suas inovações [6].

Segundo levantamento da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, a estimativa anual de redução de custos industriais no Brasil, a partir da migração da indústria para o conceito 4.0, será de, no mínimo, R\$ 73 bilhões/ano. Essa economia envolve ganhos de eficiência, redução nos custos de manutenção de máquinas e consumo de energia. Segundo a ABDI, a indústria representa hoje menos de 10% do PIB, onde o Brasil ocupa a 69ª colocação no índice Global de Inovação [7].

O objetivo deste artigo é mapear e identificar tecnologias e inovações para a indústria da construção brasileira, a partir de uma revisão de literatura na base *Scopus*. Espera-se que essa pesquisa contribua com o desenvolvimento e modernização da indústria da construção no Brasil. Esta pesquisa se constitui de uma compilação de informações sobre tecnologias e inovações encontradas na literatura, e aplicáveis à indústria da construção.

2. Referencial Teórico: Indústria 4.0

A Quarta Revolução Industrial vive o conceito da digitalização e do mundo virtual [8]. 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 [9].

São definidos exemplos de tecnologias disruptivas relacionadas ao presente estudo:

2.1 Impressão 3D

A ABDI define Manufatura Aditiva ou Impressão 3D como a adição de material para fabricar objetos, formados por várias peças, constituindo uma montagem [7].

2.2 Big Data

A capacidade de processar grandes quantidades de dados e extrair insights úteis de dados revolucionou a sociedade. Este fenômeno — apelidado de *Big Data* — tem aplicações para uma ampla variedade de indústrias, incluindo a indústria da construção [10].

2.3 Internet das Coisas

A ABDI define que a Internet das Coisas representa a possibilidade de que objetos físicos estejam conectados à internet podendo assim executar de forma coordenada uma determinada ação [7].

2.4 Robótica

A robótica é a indústria relacionada à engenharia, construção e operação de robôs - um campo amplo e diversificado relacionado a muitas indústrias comerciais e usos do consumidor. O campo da robótica geralmente envolve analisar como qualquer sistema de tecnologia construído físico pode executar uma tarefa ou desempenhar um papel em qualquer interface ou nova tecnologia [11].

2.5 Realidade Aumentada

A tecnologia da realidade aumentada está provando ser altamente flexível e ter grande potencial em áreas numerosas como manutenção, treinamento/aprendizagem, montagem ou projeto de produto, e em setores industriais como as indústrias de

automóvel, aeronáutica ou transformadoras [12].

2.6 Realidade Virtual

A realidade virtual (VR) é um ambiente tridimensional simulado por computador e realista. O VR aumenta o senso de estar do usuário no ambiente e permite que o usuário interaja com o ambiente [13].

2.7 Computação em Nuvem

Computação em nuvem é o fornecimento de serviços de computação, incluindo servidores, armazenamento, bancos de dados, rede, software, análise e inteligência, pela Internet (“a nuvem”) para oferecer inovações mais rápidas, recursos flexíveis e economias de escala [14].

2.8 Cibersegurança

Cibersegurança é o termo que designa o conjunto de meios e tecnologias que visam proteger, de danos e intrusão ilícita, programas, computadores, redes e dados [15].

2.9 Inteligência Artificial

A ABDI define Inteligência Artificial como um segmento da computação que busca simular a capacidade humana de raciocinar, tomar decisões, resolver problemas, dotando softwares e robôs de uma capacidade de automatizarem vários processos [6].

2.10 Sistemas Cyber-Físicos (CPS)

A ABDI ressalta que os Sistemas Cyber-Físicos sintetizam a fusão entre o mundo físico e digital. Dentro desse conceito, todo o objeto físico (seja uma máquina ou uma linha de produção) e os processos físicos que ocorrem, em função desse objeto, são digitalizados [6].

2.11 Drones

O termo “drone” é usado popularmente para descrever qualquer aeronave com alto grau de automatismo. De uma forma geral, toda aeronave “drone” é um aeromodelo ou uma aeronave não tripulada remotamente pilotada (RPA) [16].

3. Indústria da construção

A indústria da construção está em processo de transformação com a indústria 4.0. A fim de melhorar a qualidade, redução dos custos e riscos, inovações estão sendo aplicadas no canteiro de obras.

Segundo a FIRJAN (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro) a Indústria da Construção Civil é um dos setores mais importantes economicamente. O crescimento do setor está diretamente relacionado a capacidade produtiva brasileira [9]. De acordo com a Câmara Brasileira da Construção Civil, muitos profissionais e gestores possuem o medo de investir capital nas inovações pois não possuem informações sobre os reais benefícios de sua utilização. Devido a isso, o potencial do setor é limitado, que pode ter maior qualidade e possuir menores custos [6].

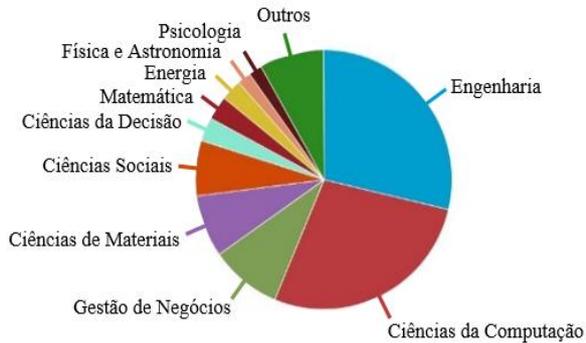
4. Metodologia Identificação da bibliográfica existente

Para avaliar as tecnologias e inovações, o autor realizou uma pesquisa de artigos publicados em periódicos da base *Scopus*. O autor selecionou a base *Scopus* para a aplicação da pesquisa, uma vez que consiste na maior base de dados de literatura revisada por pares e possui mais de trinta e quinze e cinco mil fontes, incluindo a editores: (i) *Elsevier*, (ii) *Emerald*, (iii) *Springer* e (iv) *Taylor & Francis*. A pesquisa ocorreu entre setembro e outubro de 2019.

A busca na base *Scopus* resultou em 123 artigos, que formaram esta seção. Uma análise dos estudos revisados (Fig. 1) identificou que a grande maioria deles apresenta (i) Engenharia como o foco estudado, com 28,8% da pesquisa concentrada nessa área. Em seguida, (ii) Ciências da computação com 27,5%, (iii) Gestão de negócios com 9%, (iv) Outros com 8,2%, (v) Ciências de materiais com 7,7%, (vi) Ciências sociais com 7,7%, (vii) Ciências da decisão com 3,0%, (viii) Matemática com 3,0%, (ix) Energia com 2,6%, Física e Astronomia com 1,7% e (x)

Psicologia com 1,7%.

Figura 1 – Documentos por área de assunto



Fonte: Adaptação de *Scopus*, 2019 [17]

4.1 Identificação de revistas

Os 123 artigos selecionados do estudo são distribuídos em mais de 85 revistas diferentes.

A Tabela 1 lista as principais revistas resultantes da busca no *Scopus* do objeto de pesquisa.

Tabela 1 – Lista de principais revistas resultantes da busca no *Scopus*

	Revistas	Qtd
1.	IEEE Access	11
2.	IEEE Communications Surveys and Tutorials	8
3.	Automation in Construction	5
4.	Computers in Industry	5
5.	Advanced Engineering Informatics	4
6.	Pervasive and Mobile Computing	3
7.	CIRP Annals	2
8.	Cities	2
9.	Computer Supported Cooperative Work: CSCW: An International Journal	2
10.	Foundations and Trends in Web Science	2
11.	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	2
12.	Journal of Civil Engineering and Management	2

Fonte: Autor, 2019

4.2 Avaliação da bibliografia existente

A partir da pesquisa com a revisão de literatura de 123 artigos da base *Scopus*, foi possível desenvolver uma matriz agrupada

por área tecnológica, conforme Quadro 1, exemplo no Apêndice A, contemplando os títulos dos artigos em inglês, os escopos da pesquisa, os autores e o ano de publicação. Avaliaram-se os documentos coletados para identificar os artigos com maior aderência ao presente estudo. O quadro 1 discute a base de documentos identificada, classificadas e agrupadas em: (i) indústria 4.0, (ii) impressão 3d, (iii) *big data*, (iv) internet das coisas, (v) bim, (vi) robótica, (vii) realidade aumentada, (viii) realidade virtual, (ix) computação em nuvem, (x) cibersegurança, (xi) inteligência artificial, (xii) sistemas cyber-físicos e (xiii) drones. Entre os 123 documentos, foi possível identificar que 55 deles não estavam diretamente relacionados aos fluxos de pesquisa.

Quadro 1 – Artigos selecionados para a pesquisa, autores e seus escopos

INDÚSTRIA 4.0		
TÍTULO	AUTOR	ESCOPO
The Viable Smart Product Model: Designing Products that Undergo Disruptive Transformations	(BARATA; CUNHA, 2019) [3]	Pesquisa sobre a adoção do modelo de sistema viável e criação de produtos inteligentes viáveis para indústria 4.0
Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies	(FRANK; DALENOGA RE; AYALA, 2019) [2]	Pesquisa sobre os padrões de adoção das tecnologias da indústria 4.0 nas empresas de manufatura
A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing	(KERIN; PHAM, 2019) [18]	Pesquisa sobre as tecnologias digitais emergentes da indústria 4.0
Understanding the implications of digitization and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a	(OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016) [1]	Exploram o estado de prática da indústria 4.0 relacionando tecnologias na indústria da construção civil

research agenda for the construction industry		
INDÚSTRIA 4.0		
TÍTULO	AUTOR	ESCOPO
Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field	(SCHNEIDER, 2018) [19]	Investigam as tecnologias em domínios de aplicação relacionados à indústria 4.0
A systematic review of smart real estate technology: Drivers of, and barriers to, the use of digital disruptive technologies and online platforms	(ULLAH; SEPASGOZAR; WANG, 2018) [20]	Revisão de literatura sobre a adoção de tecnologias disruptivas em imóveis
IMPRESSÃO 3D		
Crowdsourcing with online quantitative design analysis	(BIRCH; SIMONDETTI; GUO, 2018) [21]	Aperfeiçoam o processo de design com visualização 3D e nuvem
Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0	(CRAVEIRO; DUARTE; BARTOLO, 2019) [4]	Pesquisa sobre manufatura aditiva (AM) na construção, principais desafios e oportunidades
BIG DATA		
Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends	(BILAL; OYEDELE; QADIR; MUNIR et al., 2016) [10]	Revisão de literatura de campos como estatísticas, mineração de dados e armazenagem, aprendizado de máquina e Big data Analytics no contexto da indústria da construção

Critical analysis for big data studies in construction: significant gaps in knowledge	(MADANAYAKE; EGBU, 2019) [22]	Identificam as lacunas e potenciais futuros caminhos de pesquisa na pesquisa de Big data na indústria da construção civil
BIG DATA		
TÍTULO	AUTOR	ESCOPO
Cloud robotics: Current status and open issues	(WAN; TANG; YAN; LI et al., 2016) [23]	Pesquisa sobre o valor potencial de sistemas robóticos da nuvem em aplicações práticas diferentes
INTERNET DAS COISAS		
Supporting smart construction with dependable edge computing infrastructures and applications	(KOCHOVSKI; STANKOVSKI, 2018) [24]	Desenvolvem uma arquitetura de computação de borda prática e design viável para construção inteligente
Major requirements for building Smart Homes in Smart Cities based on Internet of Things technologies	(HUI; SHERRATT; SÁNCHEZ, 2017) [25]	Definem os requisitos para a construção de casas inteligentes baseados em tecnologias com base na Internet das Coisas
Ariot: Augmented reality using fiducial markers and image recognition for wireless triggering of internet of things devices	(SAHU; SAMANI; RAJKUMAR, 2019) [26]	Pesquisa sobre o domínio Soft-Computing para acionamento sem fio
Internet of Things (IoT) in high-risk Environment, Health and Safety (EHS) industries: A comprehensive review	(THIBAUD; CHI; ZHOU; PIRAMUTHU, 2018) [27]	Revisão de literatura sobre aplicativos baseados em IoT em indústrias de alto risco de meio ambiente, saúde e segurança

BIM		
TÍTULO	AUTOR	ESCOPO
Bridging BIM and building: From a literature review to an integrated conceptual framework	(CHEN; LU; PENG; ROWLINSON et al., 2015) [28]	Desenvolvem um quadro conceitual para a ponte BIM e construção
BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review	(GAO; PISHDAD-BOZORGI, 2019) [29]	Aplicam BIM em Operação & Manutenção de edificações
Evolution in the intellectual structure of BIM research: a bibliometric analysis	(OLAWUMI; CHAN; WONG, 2017) [30]	Analisam 445 artigos para avaliar a influência do BIM em setores do projeto
Building information modelling and project information management framework for construction projects	(OLAWUMI; CHAN, 2018) [31]	Pesquisa sobre a gestão da informação e modelo de avaliação da construção
A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends	(TANG; SHELDEN; EASTMAN; PISHDAD-BOZORGI et al., 2019) [32]	Revisão de literatura sobre BIM integrado a dispositivos aplicados a Internet das Coisas
Building information modelling for off-site construction: Review and future directions	(YIN; LIU; CHEN; AL-HUSSEIN, 2019) [33]	Pesquisa sobre a relação entre BIM e construção fora do local
ROBÓTICA		
Human-robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008–2017	(HENTOUT; AOUACHE; MAOUDJ; AKLI, 2019) [34]	Revisão bibliográfica sobre interações humano-robô em robôs colaborativos industriais
Innovative control of assembly systems and lines	(KRÜGER; WANG; VERL; BAUERNHA	Revisão de inovações em TIC e robótica

	NSL et al., 2017) [35]	para o controle flexível e automação de linhas de montagem e sistemas
ROBÓTICA		
TÍTULO	AUTOR	ESCOPO
Working Together: A Review on Safe Human-Robot Collaboration in Industrial Environments	(ROBLA-GOMEZ; BECERRA; LLATA; GONZALEZ-SARABIA et al., 2017) [36]	Revisão dos principais sistemas de segurança aplicados em ambientes robóticos industriais
REALIDADE AUMENTADA		
Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade	(BOTTANI; VIGNALI, 2019) [11]	Revisão de literatura sobre realidade aumentada na indústria de manufatura de publicações entre 2006 e 2017
Cross-reality environments in smart buildings to advance STEM cyberlearning	(DE AMICIS; RIGGIO; SHAHBAZ BADR; FICK et al., 2019) [37]	Pesquisa sobre o cross-reality com técnicas de representação multi-modal em construções inteligentes
Of Embodied Action and Sensors: Knowledge and Expertise Sharing in Industrial Set-Up	(DE CARVALHO; HOFFMANN; ABELE; SCHWEITZER et al., 2018) [38]	Pesquisa sobre o uso de realidade aumentada e tecnologias de sensores em instalações industriais
REALIDADE VIRTUAL		
An overview of self-adaptive technologies within virtual reality training	(VAUGHAN; GABRYS; DUBEY, 2016) [39]	Pesquisa sobre as tecnologias auto-adaptáveis para o treinamento em realidade virtual
COMPUTAÇÃO EM NUVEM		
Toward energy-efficient cloud computing: a survey of dynamic power management and heuristics-based optimization techniques	(KHATTAR; SIDHU; SINGH, 2019) [40]	Fornecem um quadro de eficiência energética na computação em nuvem

CIBERSEGURANÇA		
TÍTULO	AUTOR	ESCOPO
A Review on Blockchain Technologies for an Advanced and Cyber-Resilient Automotive Industry	(FRAGA-LAMAS; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, 2019) [41]	Revisão sobre a aplicação de tecnologias blockchain para a indústria automotiva
Blockchain for AI: Review and open research challenges	(SALAH; REHMAN NIZAMUDDIN; AL-FUQAHA, 2019) [42]	Revisão sobre aplicações de blockchain para inteligência artificial
Security and Privacy of Smart Cities: A Survey, Research Issues and Challenges	(SOOKHAK; TANG; HE; YU, 2019) [43]	Pesquisa sobre questões de segurança e privacidade de cidades inteligentes
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL		
On big data, artificial intelligence and smart cities	(ALLAM; DHUNNY, 2019) [44]	Desenvolve estrutura de inteligência artificial no canteiro de obras
SISTEMAS CYBER-FÍSICOS		
Cyber-physical systems: Extending pervasive sensing from control theory to the Internet of Things	(BORDEL; ALCARRIA; ROBLES; MARTÍN, 2017) [45]	Revisão sobre sistemas cyber-físicos para cada domínio tecnológico
A survey on concepts, applications, and challenges in cyber-physical systems	(GUNES; PETER; GIVARGIS; VAHID, 2014) [46]	Estuda a origem dos sistemas cyber-físicos, relações com pesquisa e aplicações práticas
Towards Social Cyber-physical Production Systems	(JING; YAO, 2019) [47]	Modela sistema de produção cibernética social
DRONES		
TÍTULO	AUTOR	ESCOPO
Bridge inspection: human performance, unmanned aerial systems and automation	(DORAFSHAN; MAGUIRE, 2018) [48]	Pesquisa sobre inspeção de pontes dos Estados Unidos com sistemas aéreos não tripulados

Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: A Communications Viewpoint	(HAYAT; YANMAZ; MUZAFFAR, 2016) [49]	Pesquisa sobre redes de veículos aéreos não tripulados para aplicações civis
---	--------------------------------------	--

Fonte: Autor, 2019

A partir disso foi possível desenvolver um mapa mental com as principais áreas tecnológicas ligadas diretamente com a construção 4.0 (Fig. 2). Construção 4.0 pode ser definido como tudo o que engloba o emprego de novas tecnologias construtivas, automação no canteiro de obras e gestão de projetos através de *softwares*.

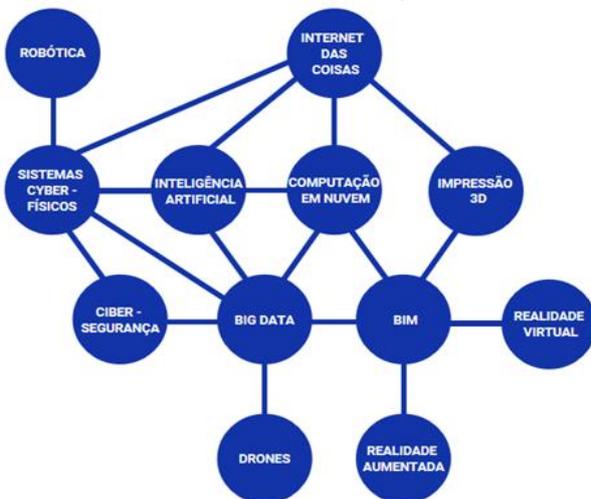
Figura 2 – Mapa mental da construção 4.0



Fonte: Autor, 2019

Também foi possível sintetizar um mapa mental (Fig.3) referente as áreas tecnológicas da indústria 4.0 e suas ramificações, que podem ser aplicadas na indústria da construção.

Figura 3 – Mapa mental da integração de diferentes áreas tecnológicas



Fonte: Autor, 2019

5. Considerações Finais

A indústria da construção está em processo de transformação com a indústria 4.0. A fim de melhorar a qualidade, redução dos custos e riscos, inovações estão sendo aplicadas no canteiro de obras.

De acordo com a Câmara Brasileira da Construção Civil, muitos profissionais e gestores possuem o medo de investir capital nas inovações pois não possuem informações sobre os reais benefícios de sua utilização.

A pesquisa objetivamente buscou mapear e identificar tecnologias e inovações para a indústria da construção brasileira, a partir de uma revisão de literatura na base *Scopus*.

A partir desta pesquisa foi possível desenvolver uma matriz agrupada por área tecnológica relacionados a indústria da construção e sintetizar dois mapas mentais, com as principais áreas tecnológicas ligadas diretamente com a construção 4.0 e integração das áreas tecnológicas da indústria 4.0.

Espera-se que essa pesquisa contribua com o desenvolvimento e modernização da indústria da construção no Brasil.

Ressalta-se que a base de artigos gerada pela pesquisa pode ser utilizada como base

para estudos futuros.

6. Referências

- [1] 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*, 83, p. 121-139, 2016. Review.
- [2] FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, p. 15-26, 2019. Article.
- [3] BARATA, J.; CUNHA, P. R. The Viable Smart Product Model: Designing Products that Undergo Disruptive Transformations. *Cybernetics and Systems*, 2019. Article.
- [4] CRAVEIRO, F.; DUARTE, J. P.; BÁRTOLO, H.; BARTOLO, P. J. (2019). Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. *Automation in Construction*. 103. 251-267. 10.1016/j.autcon.2019.03.011.
- [5] CNI. Confederação Nacional da Indústria. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br>
- [6] CBCI. Câmara Brasileira da Construção Civil. Catálogo da Construção Civil. Brasília: CBIC, 2016
- [7] ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Disponível em: <http://industria40.gov.br/>
- [8] COLLABO. Transformações na indústria 4.0 na realidade das empresas. Joinville - SC, 2016. Disponível em: <https://blog.collabo.com.br/transformacoes-industria-4-0>.
- [9] FIRJAN. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro Indústria 4.0.

- Disponível em:
<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557D8802C639A4>
- [10] BILAL, M.; OYEDELE, L. O.; QADIR, J.; MUNIR, K. et al. Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. *Advanced Engineering Informatics*, 30, n. 3, p. 500-521, 2016. Review.
- [11] TECHOPEDIA. Disponível em:
<https://www.techopedia.com/definition/32836/robotics>
- [12] BOTTANI, E.; VIGNALI, G. Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IISE Transactions*, 51, n. 3, p. 284-310, 2019. Article.
- [13] PARK, M.; IM, H.; KIM, D. Y. Feasibility and user experience of virtual reality fashion stores. *Fashion and Textiles*, 5, n. 1, 2018. Article.
- [14] Microsoft Azure. Disponível em:
<https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-cloud-computing/>
- [15] SANTANA, W. Pilares tecnológicos da Indústria 4.0 - Cibersegurança. Disponível em:
<https://www.rvsis.com.br/index.php/news/80-pilares-6-d-9>
- [16] ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Disponível em:
<http://www.anac.gov.br/perguntas-frequentes/drones/aeronaves/o-que-sao-drones>
- [17] SCOPUS. Disponível em:
<https://www.scopus.com/>
- [18] KERIN, M.; PHAM, D. T. A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 237, 2019. Review.
- [19] SCHNEIDER, P. Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. *Review of Managerial Science*, 12, n. 3, p. 803-848, 2018. Review.
- [20] ULLAH, F.; SEPASGOZAR, S. M. E.; WANG, C. A systematic review of smart real estate technology: Drivers of, and barriers to, the use of digital disruptive technologies and online platforms. *Sustainability (Switzerland)*, 10, n. 9, 2018. Review.
- [21] BIRCH, D.; SIMONDETTI, A.; GUO, Y. K. Crowdsourcing with online quantitative design analysis. *Advanced Engineering Informatics*, 38, p. 242-251, 2018. Article.
- [22] MADANAYAKE, U. H.; EGBU, C. Critical analysis for big data studies in construction: significant gaps in knowledge. *Built Environment Project and Asset Management*, 2019. Review.
- [23] WAN, J.; TANG, S.; YAN, H.; LI, D. et al. Cloud robotics: Current status and open issues. *IEEE Access*, 4, p. 2797-2807, 2016. Article.
- [24] KOCHOVSKI, P.; STANKOVSKI, V. Supporting smart construction with dependable edge computing infrastructures and applications. *Automation in Construction*, 85, p. 182-192, 2018. Article.
- [25] HUI, T. K. L.; SHERRATT, R. S.; SÁNCHEZ, D. D. Major requirements for building Smart Homes in Smart Cities based on Internet of Things technologies. *Future Generation Computer Systems*, 76, p. 358-369, 2017. Article.
- [26] SAHU, A.; SAMANI, K.; RAJKUMAR, R. Ariot: Augmented reality using fiducial markers and image recognition for wireless triggering of internet of things devices. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7, n. 6, p. 65-70, 2019. Article.
- [27] THIBAUD, M.; CHI, H.; ZHOU, W.; PIRAMUTHU, S. Internet of Things (IoT) in high-risk Environment, Health and Safety (EHS) industries: A

- comprehensive review. *Decision Support Systems*, 108, p. 79-95, 2018. Article.
- [28] CHEN, K.; LU, W.; PENG, Y.; ROWLINSON, S. et al. Bridging BIM and building: From a literature review to an integrated conceptual framework. *International Journal of Project Management*, 33, n. 6, p. 1405-1416, 2015. Article.
- [29] GAO, X.; PISHDAD-BOZORGI, P. BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review. *Advanced Engineering Informatics*, 39, p. 227-247, 2019. Review.
- [30] OLAWUMI, T. O.; CHAN, D. W. M.; WONG, J. K. W. Evolution in the intellectual structure of BIM research: a bibliometric analysis. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23, n. 8, p. 1060-1081, 2017. Review.
- [31] OLAWUMI, T. O.; CHAN, D. W. M. Building information modelling and project information management framework for construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, 25, n. 1, p. 53-75, 2018. Article.
- [32] TANG, S.; SHELDEN, D. R.; EASTMAN, C. M.; PISHDAD-BOZORGI, P. et al. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Automation in Construction*, 101, p. 127-139, 2019. Review.
- [33] YIN, X.; LIU, H.; CHEN, Y.; AL-HUSSEIN, M. Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. *Automation in Construction*, 101, p. 72-91, 2019. Review.
- [34] HENTOUT, A.; AOUACHE, M.; MAOUDJ, A.; AKLI, I. Human-robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008-2017. *Advanced Robotics*, 2019. Article.
- [35] KRÜGER, J.; WANG, L.; VERL, A.; BAUERNHANSL, T. et al. Innovative control of assembly systems and lines. *CIRP Annals*, 66, n. 2, p. 707-730, 2017. Article.
- [36] ROBLA-GOMEZ, S.; BECERRA, V. M.; LLATA, J. R.; GONZALEZ-SARABIA, E. et al. Working Together: A Review on Safe Human-Robot Collaboration in Industrial Environments. *IEEE Access*, 5, p. 26754-26773, 2017. Review.
- [37] DE AMICIS, R.; RIGGIO, M.; SHAHBAZ BADR, A.; FICK, J. et al. Cross-reality environments in smart buildings to advance STEM cyberlearning. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 13, n. 1, p. 331-348, 2019. Article.
- [38] DE CARVALHO, A. F. P.; HOFFMANN, S.; ABELE, D.; SCHWEITZER, M. et al. Of Embodied Action and Sensors: Knowledge and Expertise Sharing in Industrial Set-Up. *Computer Supported Cooperative Work: CSCW: An International Journal*, 27, n. 3-6, p. 875-916, 2018. Article.
- [39] VAUGHAN, N.; GABRYS, B.; DUBEY, V. N. An overview of self-adaptive technologies within virtual reality training. *Computer Science Review*, 22, p. 65-87, 2016. Review.
- [40] KHATTAR, N.; SIDHU, J.; SINGH, J. Toward energy-efficient cloud computing: a survey of dynamic power management and heuristics-based optimization techniques. *Journal of Supercomputing*, 2019. Article.
- [41] FRAGA-LAMAS, P.; FERNÁNDEZ - CARAMÉS, T. M. A Review on Blockchain Technologies for an Advanced and Cyber-Resilient Automotive Industry. *IEEE Access*, 7, p. 17578-17598, 2019. Article.
- [42] SALAH, K.; REHMAN, M. H. U.; NIZAMUDDIN, N.; AL-FUQAHA, A. Blockchain for AI: Review and open

- research challenges. *IEEE Access*, 7, p. 10127-10149, 2019. Article.
- [43] SOOKHAK, M.; TANG, H.; HE, Y.; YU, F. R. Security and Privacy of Smart Cities: A Survey, Research Issues and Challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 21, n. 2, p. 1718-1743, 2019. Review.
- [44] ALLAM, Z.; DHUNNY, Z. A. On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities*, 89, p. 80-91, 2019. Article.
- [45] BORDEL, B.; ALCARRIA, R.; ROBLES, T.; MARTÍN, D. Cyber-physical systems: Extending pervasive sensing from control theory to the Internet of Things. *Pervasive and Mobile Computing*, 40, p. 156-184, 2017. Article.
- [46] GUNES, V.; PETER, S.; GIVARGIS, T.; VAHID, F. A survey on concepts, applications, and challenges in cyber-physical systems. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 8, n. 12, p. 4242-4268, 2014. Article.
- [47] JING, X.; YAO, X. F. Towards Social Cyber-physical Production Systems. *Zidonghua Xuebao/Acta Automatica Sinica*, 45, n. 4, p. 637-656, 2019. Review.
- [48] DORAFSHAN, S.; MAGUIRE, M. Bridge inspection: human performance, unmanned aerial systems and automation. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 8, n. 3, p. 443-476, 2018. Article.
- [49] HAYAT, S.; YANMAZ, E.; MUZAFFAR, R. Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: A Communications Viewpoint. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 18, n. 4, p. 2624-2661, 2016. Review.