



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

INTEGRAÇÃO DE BIM E IOT USANDO RFID EM ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS: LACUNAS DO CONHECIMENTO¹

LIMA, Caio Mendes (1); FERREIRA, Emerson A. M. (2); CALMON, João Luiz (3)

(1) Universidade Federal da Bahia (UFBA), caioasu@gmail.com

(2) Universidade Federal da Bahia (UFBA), ferreira.eam@gmail.com

(3) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), calmonbarcelona@gmail.com

RESUMO

Na construção civil, principalmente na indústria de pré-fabricados, existem práticas que geram incertezas e atrasos no desenvolvimento das obras, isso geralmente é decorrência das interdependências entre os estágios de fabricação, transporte e montagem. Estudos mostraram que a integração das tecnologias de Modelagem de Informações da Construção (BIM), Internet das Coisas (IoT) e Identificação por Rádio Frequência (RFID) trouxe melhorias nas etapas construtivas e operacionais. O presente trabalho apresenta uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) com o objetivo de conhecer os trabalhos realizados e identificar as lacunas no conhecimento, embasando-se na relação entre as necessidades dos sistemas pré-fabricados de concreto, na integração das tecnologias mencionadas, e na identificação dos requisitos técnicos. Constatou-se que a integração do BIM, IoT e RFID em construções com elementos pré-fabricadas de concreto ainda necessita de avanços nas perspectivas práticas e teóricas, mostrando que temas voltados para o detalhamento de rotinas de produção e transporte, segurança de processos, análise ambiental e manutenção, não foram explorados.

Palavras-chave: BIM. IoT. Sistemas pré-fabricados.

ABSTRACT

In civil construction, mainly in the prefabricated industry, some practices generate uncertainties and delays in the development of works, this is usually due to the interdependencies between the stages of manufacture, transportation, and assembly. Studies have shown that the integration of Construction Information Modeling (BIM), Internet of Things (IoT), and Radio Frequency Identification (RFID) technologies have brought improvements in the construction and operational stages. This work presents a Systematic Literature Review (SLR) intending to know the work developed and identify gaps in knowledge, based on the relationship between the needs of prefabricated concrete systems, the integration of the technologies mentioned, and the identification of technical requirements. It was found that the integration of BIM, IoT, and RFID in buildings with prefabricated concrete elements still needs advances in practical and theoretical perspectives, showing that themes focused on detailing production and transportation routines, process safety, analysis, and maintenance, have not been explored.

Keywords: BIM. IoT. Prefabricated systems.

¹ LIMA, Caio Mendes; FERREIRA, Emerson A. M.; CALMON, João Luiz. Integração de BIM e IoT usando RFID em elementos pré-fabricados: lacunas do conhecimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção Civil tem presenciado um processo de industrialização no qual demandas crescentes por edifícios com elementos pré-fabricados têm emergido (HAN; YE, 2018). Este sistema construtivo pode ser entendido a partir da atividade de produção de elementos de construção em uma fábrica e posteriormente enviado ao canteiro de obra. Além disso, estudos têm mostrado que o sistema pré-fabricado tem trazido benefícios como a redução de custos na construção, maior velocidade de produção, menor desperdício e menor consumo de material (XU *et al.*, 2018).

No entanto, o gerenciamento de componentes pré-fabricados permanece ineficiente, além da fragmentação nas etapas de produção, transporte e montagem (HAN; YE, 2018; LI *et al.*, 2016a). A falta de comunicação tem sido reconhecida como um dos maiores problemas enfrentados por esse setor, onde informações essenciais entre as partes envolvidas são fornecidas de maneira limitada (NAWI; BALUCH; BAHAUDDIN, 2014). Neste sentido, percebe-se uma necessidade de otimizar os procedimentos de gestão, buscando novos métodos e tecnologias de gerenciamento (QI; CHEN; COSTIN, 2018).

Esta busca por alternativas tecnológicas tem sido intensificada devido a influência da Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, que por sua vez atua fortemente por meio das Tecnologias da Informação (TI) (WOODHEAD; STEPHENSON; MORREY, 2018). Esta revolução é caracterizada pelo crescente emprego da digitalização e automatização do ambiente de produção, assim como o desenvolvimento de processos de comunicação entre produtos, espaços e pessoas envolvidas, através de uma cadeia de valor digital (DALLASEGA; RAUCH; LINDER, 2018).

Ainda no contexto da Indústria 4.0, o desenvolvimento das tecnologias associadas à Internet das Coisas (IoT) e à Identificação por Rádio Frequência (RFID) tem sido reconhecido como um dos principais avanços no auxílio ao gerenciamento da cadeia de suprimentos, instalações e monitoramento de atividades (ZHONG *et al.*, 2017), atendendo pontos relevantes que envolvem os elementos pré-fabricados. Essa integração pode ser realizada, entre outras formas, pelo processo de associação de etiquetas RFID, fixadas nas armaduras de aço presentes no interior do elemento pré-fabricado de concreto, com a sua representação digital. Estas etiquetas terão funcionalidade em todas as etapas, ajudando no acompanhamento nos processos de fabricação, transporte, montagem e manutenção. Sendo assim, os objetos modelados em BIM que possuem referências e tags RFID podem ser atualizados automaticamente no modelo por meio de conexões com dispositivos de rastreamento em campo (EASTMAN *et al.*, 2014).

Em virtude da relevância encontrada no uso das tecnologias BIM, IoT e RFID em elementos pré-fabricados, este trabalho utilizou como objeto de estudo os elementos pré-fabricados de concreto para o desenvolvimento de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com o objetivo de conhecer os trabalhos realizados e identificar as lacunas no conhecimento, embasando-se na relação entre as necessidades dos sistemas pré-fabricados de concreto, na integração das tecnologias mencionadas, e na identificação dos requisitos técnicos.

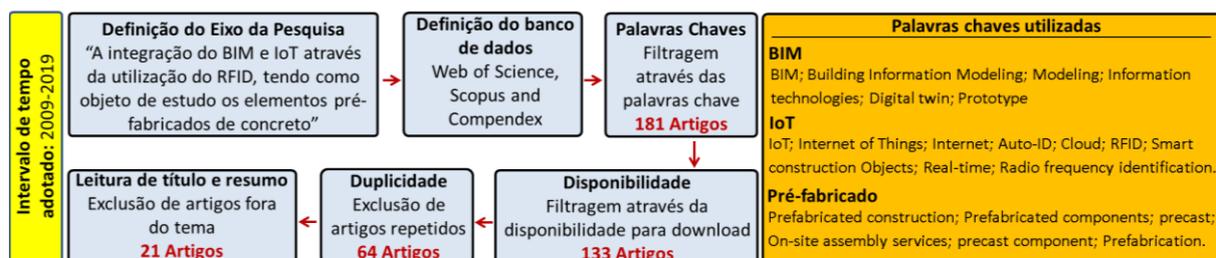
2 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo foi fundamentada em parâmetros teóricos e conceituais por meio de uma RSL. Esta metodologia consiste em uma investigação em trabalhos científicos variados, fornecendo uma estrutura de conhecimento que relaciona descobertas antigas e atuais, servindo de apoio para o avanço de novas pesquisas (RANDOLPH, 2009).

A RSL foi realizada por meio de uma coleta de dados que abrangeu trabalhos estritamente internacionais encontrados nos bancos de dados: Scopus, Web of Science e Compendex, buscando identificar os principais estudos relacionadas à integração entre BIM, IoT e RFID no sistema pré-fabricado de concreto.

Buscando sistematizar o processo de seleção das publicações relevantes, foi utilizado o método Proknow-C, o qual possibilita uma busca estruturada das documentações (WAICZYK; ENSSLIN, 2013). O processo de filtragem foi executado de acordo com a Figura 1, tendo início nas definições do intervalo de tempo e eixo da pesquisa. Posteriormente, foram selecionados três bancos de dados e em seguida a escolha das palavras chaves. Logo após, verificou-se que depois da definição das palavras-chave, foram encontradas 181 produções científicas, incluindo artigos em periódicos e conferências. A próxima filtragem foi realizada com base na disponibilidade de acesso e duplicação, deixando 64 produções científicas. Posteriormente, a filtragem foi realizada por meio da leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, obtendo-se o número final de 21 artigos a serem analisados e lidos na íntegra. Vale ressaltar que os critérios de exclusão adotados para esta última etapa foram: 1) estudos que não trataram da integração entre BIM, IoT e RFID; 2) estudos que não abordaram o sistema pré-fabricado de concreto.

Figura 1 – Processo de filtragem da RSL



Fonte: Os autores

Por fim, foi realizada uma investigação revelando as lacunas no conhecimento, além de identificar os requisitos técnicos das tecnologias utilizadas no processo de fabricação, transporte e montagem, para um sistema de planejamento sincronizado em construções com elementos pré-fabricadas.

3 RESULTADOS

Para a representação dos resultados, optou-se por separar os artigos que realizaram estudos práticos dos que realizaram estudos teóricos, para assim obter as lacunas no conhecimento em ambas as perspectivas. Posteriormente, buscou-se identificar os requisitos técnicos aplicados às tecnologias propostas.

3.1 Levantamento de estudos práticos

Os resultados encontrados na Tabela 1 mostram que a grande maioria das pesquisas de caráter prático optaram por estudar os processos logísticos. As pesquisas voltadas para análise energética e integridade do concreto apresentaram menor frequência.

Tabela 1 – Levantamento de estudos práticos

Assuntos estudados	Estudos	Autores
Análise energética	1	Chen <i>et al.</i> (2017)
LEAN Construction	4	Xu <i>et al.</i> (2018); Li <i>et al.</i> (2019a); Li <i>et al.</i> (2018b) e Yungui <i>et al.</i> (2014)
Logística	7	Feng, <i>et al.</i> (2015); Li, <i>et al.</i> (2018a); Li <i>et al.</i> (2017); Zhong <i>et al.</i> (2017); Zhong <i>et al.</i> (2015); Jouni <i>et al.</i> (2013) e Zhai <i>et al.</i> (2019)
Objetos inteligentes de Construção	2	Niu <i>et al.</i> (2017) e Niu <i>et al.</i> (2016)
Integridade do concreto	1	Zhao, Liu e Bbachu (2019)

Fonte: Os autores

Conforme a Tabela 1, os estudos desenvolvidos pelos autores Xu *et al.* (2018), Li *et al.* (2019a), Li *et al.* (2018b) e Yungui *et al.* (2014) buscaram trabalhar de maneira aplicada a integração entre o BIM, IoT, RFID e o sistema pré-fabricado, juntamente com a filosofia LEAN. Observou-se que dentre estes estudos, os artigos escritos por Xu *et al.* (2018) e Li *et al.* (2018b) utilizaram protótipos feitos de LEGO para a representação do sistema proposto, o que gerou bons resultados. Posteriormente, os autores Li *et al.* (2018b) realizaram um modelo de treinamento baseado em jogos, o que contribuiu para o aprendizado da equipe, além de apresentar a possibilidade do uso de etiquetas RFID associadas a capacetes e máquinas, mostrando a diversidade de aplicações para essas tecnologias. Os autores Li *et al.* (2019a), procuraram avaliar o uso do conceito de "pacote de trabalho" e verificar como esse conceito poderia ser integrado ao sistema BIM, IoT e RFID. Por fim, os autores Yungui *et al.* (2014) analisaram o fluxo de atividades dos elementos pré-fabricados juntamente com os princípios Lean e a integração com BIM, IoT e RFID.

De acordo com os artigos desenvolvidos por Feng *et al.* (2015), Li *et al.* (2018a), Li *et al.* (2017), Zhong *et al.* (2017), Zhong *et al.* (2015), Jouni *et al.* (2013) e Zhai *et al.* (2019), foi possível observar uma abordagem prática por meio de estudos de casos, nos quais foram analisados a utilização do sistema desenvolvido. De modo geral, foi possível verificar as dificuldades de implementação, a capacidade de utilização do sistema e os benefícios dessa integração com o sistema pré-fabricado. Já os autores Niu *et al.* (2017) e Niu *et al.* (2016) buscaram analisar os detalhes dos objetos inteligentes de construção, avaliando o processo de integração das etiquetas RFID aos elementos pré-fabricados. Chen *et al.* (2017) analisaram o consumo de energia durante os processos de produção, transporte e montagem, fazendo uma comparação com o sistema de produção pré-fabricado convencional. Por fim, o estudo realizado por Zhao, Liu e Bbachu (2019) buscou monitorar a integridade do concreto e otimizar o processo de coleta e troca de informações.

De acordo com as pesquisas e análises dos artigos apresentados, verificou-se que diferentes aplicações integrando as tecnologias BIM, IoT e RFID puderam ser

realizadas junto ao sistema pré-fabricado de concreto. No entanto, investigações práticas sobre a segurança de processos, análise ambiental, manutenção, detalhes do processo de inspeção de qualidade das etapas de produção, transporte e montagem, não foram identificadas, mostrando possíveis lacunas nestas áreas.

3.2 Levantamento de estudos teóricos.

Em relação aos resultados encontrados nos estudos teóricos, observou-se a recorrência dos temas voltados para logística e manutenção, emissão de carbono, planejamento e análise SWOT (Tabela 2). Constatou-se que o assunto com maior frequência aborda questões voltadas para a logística e manutenção. Os demais estudos apresentaram menor incidência, exibindo um artigo por tema.

Tabela 2 – Levantamento de estudos teóricos

Assuntos estudados	Estudos	Autores
Logística e manutenção	3	Han e Ye (2018); Li <i>et al.</i> (2019b) e Qi, Chen e Costin (2018).
Emissão de carbono	1	Mao <i>et al.</i> (2015)
Planejamento	1	Li, <i>et al.</i> (2016a)
Análise SWOT	1	Li, <i>et al.</i> (2016b)

Fonte: Os autores

Ainda de acordo com a Tabela 2 os artigos desenvolvidos por Han, Ye, (2018), Li *et al.* (2019b) e Qi, Chen e Costin (2018) apresentaram propostas para a implementação do controle de manutenção. Observou-se que os autores buscaram uma visão mais completa do potencial do sistema, pois, além de contribuir para os processos logísticos envolvidos nas etapas de produção, montagem e transporte, o sistema também buscou contribuir para o monitoramento pós-ocupação.

O estudo realizado por Li, *et al.* (2016b) investigou os pontos fracos e fortes, oportunidades e ameaças no processo de implementação do sistema, além de fornecer detalhes sobre a performance desse sistema integrado em seu contexto logístico. Os autores Li, *et al.* (2016a), por outro lado, buscaram analisar os riscos associados às partes interessadas, concentrando-se no fluxo de informações, visibilidade e rastreabilidade em tempo real para fins de planejamento. Por sua vez, o estudo desenvolvido por Mao *et al.* (2015) procurou analisar a emissão de carbono, comparando com o sistema de produção pré-fabricada convencional.

Diante do exposto, é possível identificar diferentes estudos teóricos a respeito da integração das tecnologias BIM, IoT e RFID. No entanto, poucas investigações sobre os detalhes técnicos do sistema, requisitos dos equipamentos utilizados e análises ambientais foram identificadas, mostrando possíveis lacunas no conhecimento.

3.3 Identificação dos requisitos técnicos aplicados à integração das tecnologias BIM, IoT e RFID.

Neste tópico, buscou-se identificar nos artigos selecionados os detalhes técnicos aplicados à integração das tecnologias BIM, IoT e RFID nas construções com elementos pré-fabricados. Em virtude de a grande maioria dos artigos serem

voltados para os processos logísticos nas etapas de fabricação, transporte e montagem, optou-se por classificar os requisitos técnicos que atendessem à estas três etapas.

3.3.1 Modelagem da Informação da Construção (BIM)

Analisando as tecnologias de visualização do sistema, a plataforma BIM permite a representação digital dos elementos reais, ou seja, gêmeos digitais das estruturas pré-fabricadas. De acordo com os estudos realizados por Niu *et al.* (2016) e Li, C Z *et al.* (2016b), os softwares Revit e Archicad entre outros, possibilitam o desenvolvimento do modelo 3D para posterior exportação no formato IFC para aplicação web. Esta aplicação via Internet foi realizada usando a API (Interface de programação de aplicativos) Web Graphics Library (WebGL), como pode ser verificado nos artigos escritos por Li. *et al.* (2018a), Niu *et al.* (2017) e Xu *et al.* (2018), os quais apresentaram bons resultados no monitoramento dos processos.

3.3.2 Internet das Coisas (IoT)

As aplicações realizadas pela interface IoT desempenham o papel de infraestrutura básica de todo o processo. Esta interface realiza a comunicação entre as aplicações visuais, gerenciamento de informações, armazenamento de dados e comunicação com os sensores de coleta de dados. De acordo com os estudos realizados por Xu *et al.* (2018), Li, *et al.* (2017) e Jouni *et al.* (2013), foi identificado que o uso do banco de dados SQL foi aplicado para promover o armazenamento de dados, permitindo assim um acesso organizado. No entanto, o estudo realizado por Tang *et al.* (2019) abordou a possibilidade do uso do banco de dados NoSQL, devido a sua capacidade de conversão de dados mais leve. Dentre as formas de envio de dados para a nuvem, os autores Li *et al.* (2018a), Niu *et al.* (2017) ,Xu *et al.* (2018), Li *et al.* (2017) e Niu *et al.* (2016) apresentaram como opção a utilização das redes Wi-Fi e 4G. No entanto, outras redes como a *Lorawan* e *Zigbee*, foram constatadas nos trabalhos escritos por Zhao, Liu e Bbachu (2019) e Niu *et al.* (2017).

3.3.3 Identificação por rádio frequência (RFID)

O contexto da tecnologia RFID está diretamente ligado ao surgimento do termo IoT, uma vez que as tags RFID foram empregadas para demonstrar o potencial de utilização desta infraestrutura de comunicação na cadeia de suprimento (ASHTON, 2009). Para este estudo, as etiquetas RFID representam a identidade exclusiva de cada elemento pré-fabricado. Para que essa identificação ocorra com sucesso, é necessário o uso de etiquetas RFID resistentes e leitores com uma capacidade de leitura adequada, uma vez que estas etiquetas são confinadas dentro do concreto. Os resultados alcançados pelos pesquisadores Chen *et al.* (2017), Li. *et al.* (2018a), Xu *et al.* (2018) e Zhong *et al.* (2017), mostraram que o uso das etiquetas *Ultra High Frequency* (UHF) passivas apresentaram desempenho satisfatório para os testes realizados. Além disso, os autores Chen *et al.* (2017) e Qi, Chen, Costin (2018) apresentaram um estudo de caso, no qual o equipamento Leitor RFID UHF TSL1128 Bluetooth® foi usado e apresentou resultados satisfatórios para aplicação.

Neste sentido, constatou-se que poucos artigos exibiram dados técnicos sobre os testes realizados. Assim, mostrando a necessidade de mais estudos que tragam mais detalhes sobre os equipamentos e softwares aplicados.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo realizou uma RSL com o objetivo de identificar as lacunas no conhecimento, além de analisar os requisitos técnicos para a integração das tecnologias BIM, IoT e RFID em sistemas pré-fabricados de concreto. Nesse sentido, constatou-se que esta integração possui potencial para os aspectos logísticos da indústria pré-fabricada, contribuindo para redução da falta de sincronização dos processos envolvidos, além de contribuir em aspectos voltados para os custos com emissão de carbono, consumo de energia, manutenção, entre outros. No entanto, estes estudos foram pouco explorados, mostrando assim lacunas do conhecimento que precisam ser melhor investigadas. Portanto, observa-se a necessidade de mais estudos sobre esta integração, buscando desenvolver análises teóricas e práticas mais aprofundadas dos detalhes técnicos do sistema, dispositivos, softwares utilizados, segurança de processos, segurança ambiental e manutenção, além de detalhes do processo de inspeção de qualidade das etapas de produção, transporte e montagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio das Fundações FAPES (E. Santo) e FAPESB (Bahia).

REFERÊNCIAS

- ASHTON, K. That 'internet of things' thing. **RFID Journal**, v. 22, n. 7, p. 97-114, 2009.
- CHEN, K.; XU, G.; XUE, F.; RAY, Y. Z.; LIU, D.; LU, W. A Physical Internet enabled Building Information modelling system for prefabricated construction. **Inter. J. of Comput. Integr. Manuf.** p. 1-13, 2017.
- DALLASEGA, P.; RAUCH, E.; LINDER, C. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. **Comput. in Industry**. v. 99, p. 205–225, 2018.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores.** Tradução de AYRES FILHO, C. et al. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- FENG, C.; HU, H.; XU, F.; YANG, J. An Intelligent Logistics Management Model in Prefabricated Construction. **Frontiers of Engineering Management**. p. 178 -181, 2015.
- HAN, C.; YE, H. A Novel IoT Cloud BIM-Based-Intelligent-Information-Management-System-in-Building-Industrialization. **ICCREM 2018**. p. 72-77, 2018.
- JOUNI, I.; ANTTI, K.; HARRI, H.; MARKO, I.; JARI, P.; TOMMI, K. Use of embedded RFID tags in concrete element supply chains. **J. of Infor. Techn. in Constr.** v.18, p. 119-147, 2013.
- LI, C. Z.; HONG, J.; XUE, F.; SHEN, G. Q.; XU, X.; MOK, M. K. Schedule risks in prefabrication housing production in Hong Kong - a social network analysis. **J. of Cleaner Prod.** V.134, p. 482-494, 2016a.
- LI, C. Z.; HONG, J.; XUE, F.; SHEN, G. Q.; XU, X.; LUO, L. SWOT analysis and Internet of Things-enabled platform for prefabrication housing production in Hong Kong. **Habitat International**. v. 57, p. 74-87, 2016b.

- LI, C. Z.; XUE, F.; LI, X.; HONG, J.; SHEN, G. Q. An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction. **Autom. in Constr.** v.89, p. 146–161, 2018a.
- LI, C. Z.; ZHONG, R. Y.; XUE, F.; XU, G.; CHEN, K.; HUANG, G. G.; SHEN, G. Q. Integrating RFID and BIM technologies for mitigating risks and improving schedule performance of prefabricated house construction. **Journal of Cleaner Production.** v. 165, p. 1048-1062, 2017.
- LI, X.; SHEN, G. Q.; WU, P.; FAN, H.; WU, H.; TENG, Y. RBLPHP Simulation of Lean Construction and Information Technologies for Prefabrication Housing Production. **Journal of Management in Engineering.** v. 34(4), p. 1-18, 2018b.
- LI, X.; SHEN, G. Q.; WU, P.; XUE, F.; CHI, H.; LI, C. Z. Developing a conceptual framework of smart work packaging for constraints management in prefabrication housing production. **Advanced Engineering Informatics.** V. 42, p. 1-15, 2019a.
- LI, X.; SHEN, G. Q.; WU, P.; YUE, T. Integration Building Information Modeling and Prefabricated Housing Production. **Autom. in Constr.** v. 100, p. 46–60, 2019b.
- MAO, C.; SHEN, Q. M.; PAN, W.; YE, K. Major Barriers to Off-Site Construction: The Developer's Perspective in China. **Journal of Management in Engineering.** v. 31, n. 3, p. 1–8, 2015.
- NAWI, M. N. M., BALUCH, N., BAHAUDDIN, A. Y.: Impact of Fragmentation Issue in Construction Industry: An Overview. In: **MATEC web of Conferences.** v.15, p. 1-15, 2014.
- NIU, Y.; LU, W.; CHEN, K.; HUANG, G. G.; ANUMBA, C. Smart Construction Objects. **J. Comput. Civ. Eng.** v. 30, p.1-11, 2016.
- NIU, Y.; LU, W.; LIU, D.; CHEN, K.; ANUMBA, C.; HUANG, G. G. An SCO-Enabled Logistics and Supply Chain Management System in Construction. **J. Constr. Eng. Manag.** v.143, p.1-12, 2017.
- QI, B.; CHEN, K.; COSTIN, A. RFID and BIM-Enabled Prefabricated Component Management System in Prefabricated Housing Production. In: **Constr. Research Congress**, p. 591- 601, 2018.
- RANDOLPH, J. A guide to writing the dissertation literature review. In: **Practical Assessment, Research & Evolution.** v14, n. 11, p. 1 -13, jun. 2009.
- TANG, S., SHELDEN, D. R.; EASTMAN, C. M.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GAO, X. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. **Autom. in Constr.** v.101, p. 127–139, 2019.
- WAICZYK, C.; ENSSLIN, E.R. Avaliação de produção científica de pesquisadores: mapeamento das publicações científicas. **Rev. Cont. de Cont.** v.10, n.20, p.97-112, 2013.
- WOODHEAD, R.; STEPHENSON, P.; MORREY, D. Digital construction: From point solutions to IoT ecosystem. **Autom. in Constr.** v.93, p. 35–46, 2018.
- XU, G.; LI, M.; CHEN, C.; WEI, Y. Cloud asset enabled integrated IoT platform for lean prefabricated construction. **Autom. in Constr.** v.93, p. 123–134, 2018.
- YUNGUI, L.; KUINING, Q.; YONGBIN, W.; TAO, Z. Study of digital lean construction platform for precast components. **Computing in Civil and Building Engineering.** p.480-488, 2014.
- ZHAI, Y.; CHEN, K.; ZHOU, J. X.; CAO, J.; LYU, Z.; JIN, X.; SHEN, G. Q. P.; LU, W.; HUANG, G. Q. An Internet of Things-enabled BIM platform for modular integrated construction: A case study in Hong Kong. **Advanced Engineering Informatics**, v. 42, p. 1-15, 2019.
- ZHAO, L.; LIU, Z.; MBACHU, J.; Development of Intelligent Prefabs Using IoT Technology to Improve the Performance of Prefabricated Construction Projects. **Sensors.** v. 19, p.1-30, 2019.
- ZHONG, R. Y.; PENG, Y.; XUE, F.; FANG, J.; ZOU, W.; LUO, H.; NG, S. T.; LU, W.; SHEN, G. Q. P.; HUANG, G. Q. Prefabricated construction enabled by the Internet-of-Things. **Autom. in Constr.** v.76, p. 59–70, 2017.
- ZHONG, Y. R.; PENG, Y.; FANG, J.; XU, G.; XUE, F.; ZOU, W.; HUANG, G. Q. Towards Physical Internet-enabled Prefabricated Housing Construction in Hong Kong. **IFAC-PapersOnline.** v. 48-3, p. 1079-1086, 2015.