

Realidade aumentada e realidade virtual em nuvem na construção civil: Uma análise da produção científica entre 2011 e 2021

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.43>

**Maria Paula Dunel¹, Thaís Alves²,
Reymard Sávio Sampaio de Melo³**

¹ Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 0000-0002-4051-7341

² Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 0000-0002-4409-1536

³ Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 0000-0001-9111-8992

Resumo

Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV) são tecnologias atuais postuladas pela Construção 4.0, e sua próxima evolução prevista é a integração com o ambiente em nuvem. O objetivo deste artigo é identificar, categorizar e analisar publicações científicas relacionadas a esta integração com aplicação na construção civil, através do Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) e análise cientométrica por meio do uso da plataforma VOSviewer. O estudo retornou trabalhos de cunho teórico, mas quantidade considerável com caráter prático e possibilidades reais de aplicação. Além disso, demonstrou a tendência de integração de tais sistemas com outras tecnologias, entre as quais o *Building Information Modeling* (BIM) ganha lugar de destaque. Entretanto, as pesquisas também se revelaram incipientes, demandando maior integração e ainda apresentando diversas oportunidades de desenvolvimento. Assim, pretende-se contribuir para a organização do conhecimento e para a orientação de pesquisadores, profissionais de obras e investidores em tecnologia.

1. Introdução

O caminho evolutivo da Realidade Virtual (RV) e da Realidade Aumentada (RA) é em direção à nuvem [1]. Com base nas redes de quinta geração (5G) e tecnologias de nuvem de ponta, as soluções de RV/RA em nuvem surgiram para acelerar os aplicativos de RV/RA e melhorar a experiência dos usuários. A evolução 5G é rápida o suficiente para transmitir dados RV/RA da nuvem, e isso pode fortalecer a capacidade de processamento de dados, a visualização e feedback em tempo real [1].

Existe um estudo recente sobre o cenário de uso de RA e RV nos setores de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), que propõe uma agenda de pesquisa para suprir as lacunas existentes. Apesar da pesquisa formalizar e categorizar o uso existente de RA e RV na indústria da construção, percebe-se que os autores não focam na relação da RV/RA com a nuvem [2].

Considerando as pesquisas existentes e a lacuna de correlação das tecnologias no campo da AEC, este estudo propõe identificar, analisar e categorizar as publicações internacionais de RV/RA em nuvem na construção civil por meio do Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL). Dessa forma, pretende-se contribuir para a organização do conhecimento e para a orientação de futuras pesquisas (indicando áreas com maior potencial de exploração), para profissionais de obra que busquem exemplos de aplicação em suas realidades e para investidores em novas tecnologias.

2. Método de pesquisa

O MSL foi adotado como método de pesquisa. Um MSL objetiva uma visão geral sobre o que está sendo pesquisado no mundo sobre determinado assunto [3]. Para a realização deste MSL, foram estabelecidas duas etapas: Coleta de dados e Análise dos dados.

2.1. Coleta de dados

O protocolo de pesquisa foi realizado com base no método PICO (*Population or Problem, Interest, Context*) voltado para estudos qualitativos e funciona como auxílio na construção de “uma pergunta de pesquisa” e na “busca de evidências” [4]. Na Figura 1, apresenta-se o referido protocolo aplicado nas bases de dados *Web of Science* (WOS), *Scopus* e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).

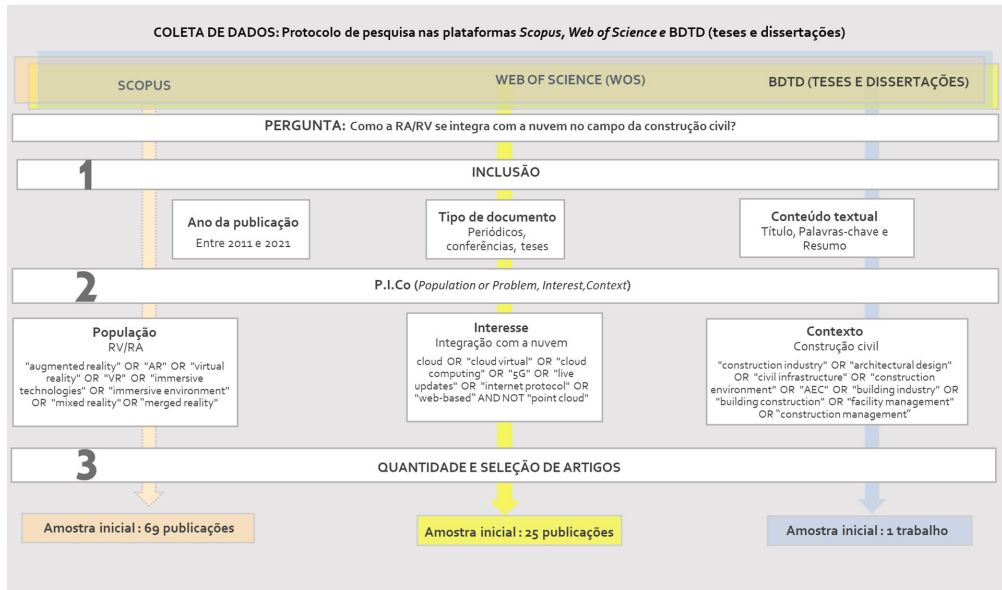


Figura 1
Protocolo de pesquisa aplicado.

Adicionalmente, foi feita uma busca manual nos anais das edições 2019 e 2021 do Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção (SBTIC) e das edições de 2016, 2018 e 2020 do Congresso Português de *Building Information Modelling* (PTBIM).

2.2. Processo de exclusão

Uma vez aplicado o protocolo de pesquisa nos bancos de dados, detectam-se 69 publicações na plataforma *Scopus*, 25 publicações na plataforma *Web of Science* e 01 tese de doutorado na BDTD. Foram coletadas apenas 03 publicações no PTBIM edição 2020 e 01 publicação no SBTIC da edição 2019. Em seguida, aplica-se o processo de triagem (Figura 2).

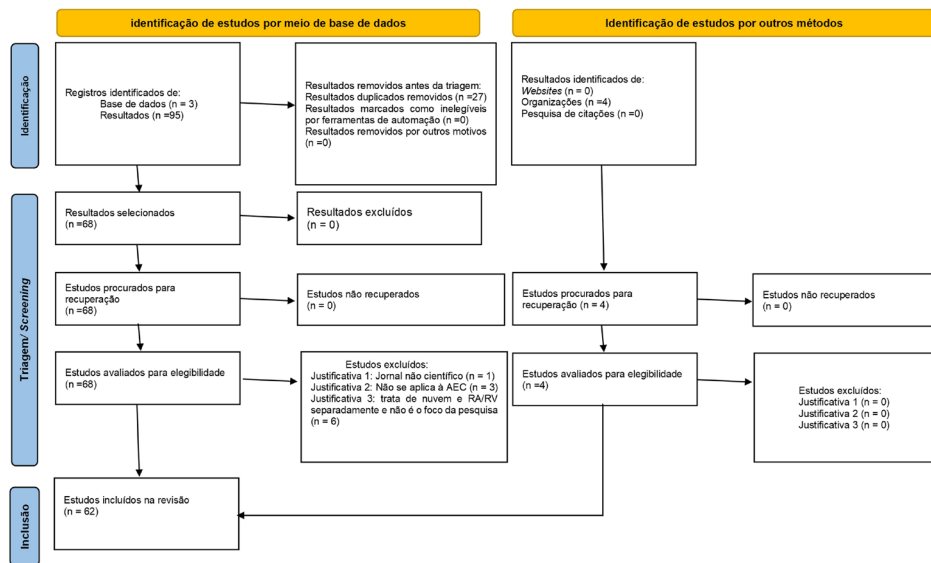


Figura 2
Fluxograma do processo de seleção da literatura.

2.3. Análise de dados

Nesta etapa, as publicações foram analisadas com base no conteúdo do título, resumo, palavras-chaves e considerações finais/conclusões. A análise de dados foi dividida em:

- **Análise cientométrica:** foram analisados os parâmetros científicos gerais das publicações (número de publicações por ano, distribuição geográfica, coocorrências de termos em palavras-chave, referências e coautoria). Foi necessária uma análise estatística para tratar esses dados, bem como utilizada a plataforma *VOSviewer* para complementar a análise.
- **Categorização das publicações revisadas:** Para fornecer uma análise mais aprofundada e qualitativa dos trabalhos revisados, os autores propuseram uma matriz que relaciona diferentes categorias nas quais eles podem ser organizados: natureza da publicação, fase do ciclo de vida da edificação, tipo de empreendimento, tipo de tecnologia aplicada e aplicação.

3. Resultados

3.1. Análise cientométrica

A pesquisa retornou um total de 197 autores, que foram analisados do ponto de vista geográfico e temporal. Pela Figura 3, é possível identificar 11 grupos distintos que não se relacionam entre si, em sua maior parte formados por um único país. Verifica-se liderança dos Estados Unidos e forte presença do continente asiático nas produções científicas, as quais são atribuídas à China, Coreia do Sul, Japão, Taiwan, Hong Kong, Bahrain, Índia, Singapura e Vietnã.

Na Figura 3, também é possível visualizar a distribuição das correlações autorais no tempo, através da média dos anos de publicação de cada país. O ápice das publicações acontece a partir de 2018. A figura revela que a participação da Croácia, Suécia, Singapura, Índia e Suíça é relativamente nova (2021), enquanto a participação do Japão e Coreia do Sul é mais antiga (inferior a 2016). Países como China, Estados Unidos, Taiwan e Canadá também possuem publicações no início do período de análise, mas, ao contrário dos países anteriormente citados, continuaram produzindo ao longo do tempo, e, portanto, possuem ano médio de publicação mais elevado.

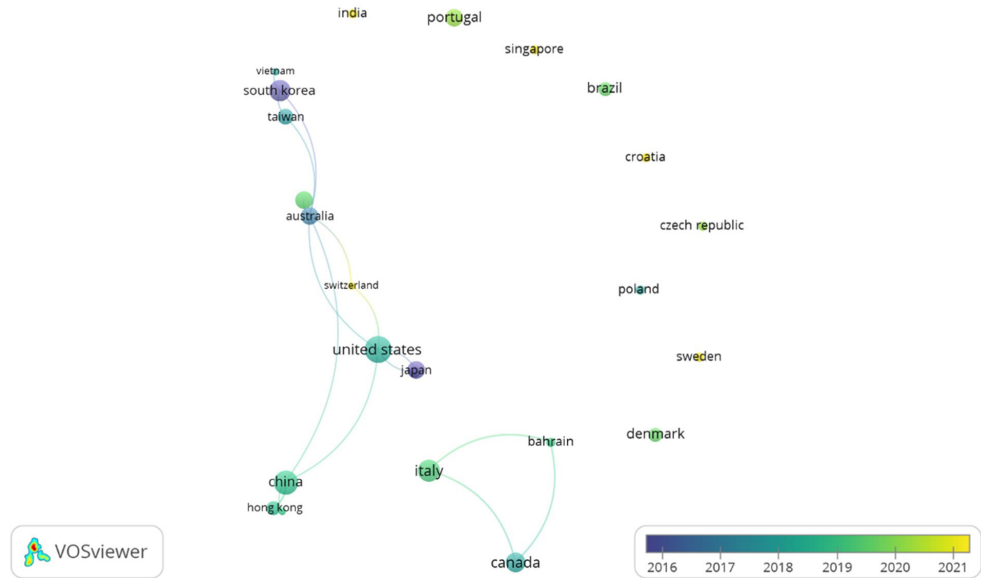


Figura 3
Coautoria geográfica.

A análise de palavras-chave dos autores também foi conduzida nesta pesquisa (Figura 4). Os termos que aparecem mais vezes nos documentos são, nesta ordem, “Augmented Reality”, “BIM” (e sua variação por extenso, *Building Information Modeling*), “Cloud computing” e “Virtual Reality”. Três destes termos eram esperados, já que a *string* utilizada para a busca focaliza esta temática. A frequência de uso do termo “BIM”, por sua vez, não era tão previsível, mas enfatiza a importância que tem sido a ele atribuída na indústria da construção.

Também é possível entender que a tecnologia de realidade aumentada tem sido mais explorada do que a realidade virtual, sendo a única interligada ao conceito de “Internet of Things (IoT)”. A realidade mista aparece com menor intensidade nos resultados. Ademais, verifica-se a ligação das palavras principais com termos relacionados a gestão, integração, colaboração e qualidade.

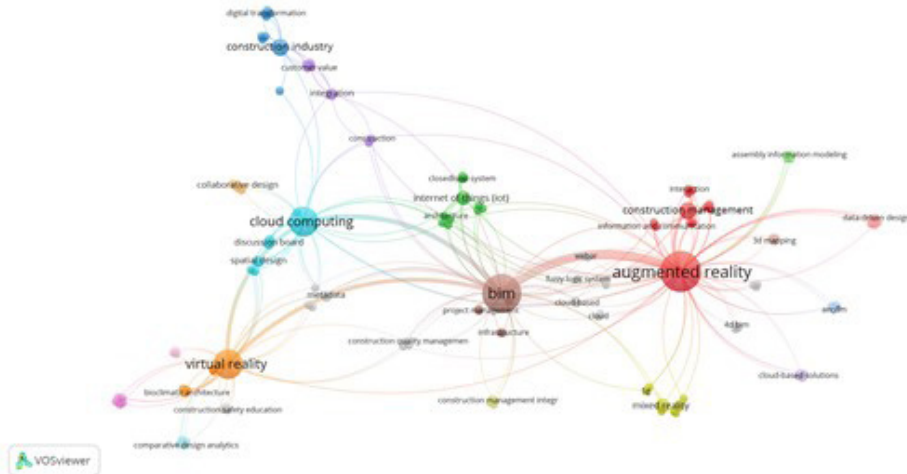


Figura 4
Coocorrência de palavras-chave (grupos de correlações diferenciados por cor).

No âmbito das citações, foi conduzida análise do número de vezes em que os trabalhos da pesquisa foram citados externamente, o que indica a relevância e aplicabilidade do seu conteúdo na comunidade científica (Figura 5). Apenas 40 publicações foram selecionadas para esta análise, já que os demais documentos não apresentam histórico de citação.

O líder do ranking é o artigo “*Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction*” [5]. Trata-se de um artigo amplo, que propõe de forma preditiva, tendências para o futuro da realidade aumentada na indústria da construção, entre elas a tecnologia da nuvem.

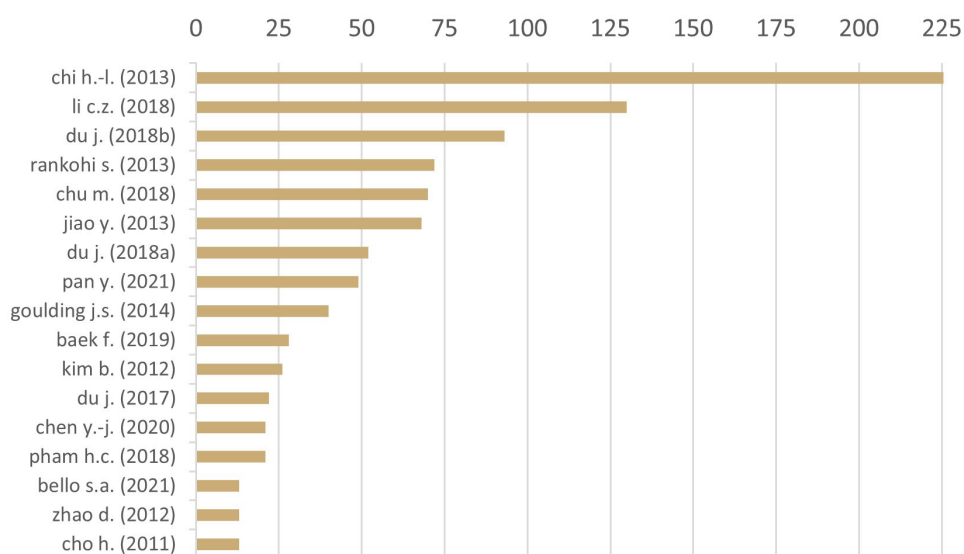


Figura 5
Número de citações por publicação (recorte das publicações mais citadas).

A Figura 6 ilustra a existência de 25 grupos de documentos que não se relacionam entre si em termos de citações, o que pode demonstrar uma fragmentação na área de pesquisa. Entretanto, em um destes grupos é possível verificar a correlação entre 15 publicações. Entre elas, vale destacar o artigo de Chu, M. [6], pois ele cita o artigo líder do ranking, considerado de grande relevância, e por sua vez, é citado por quatro outros documentos, dos quais dois se espelham na metodologia por ele proposta para avaliação prática após o desenvolvimento de sistemas.

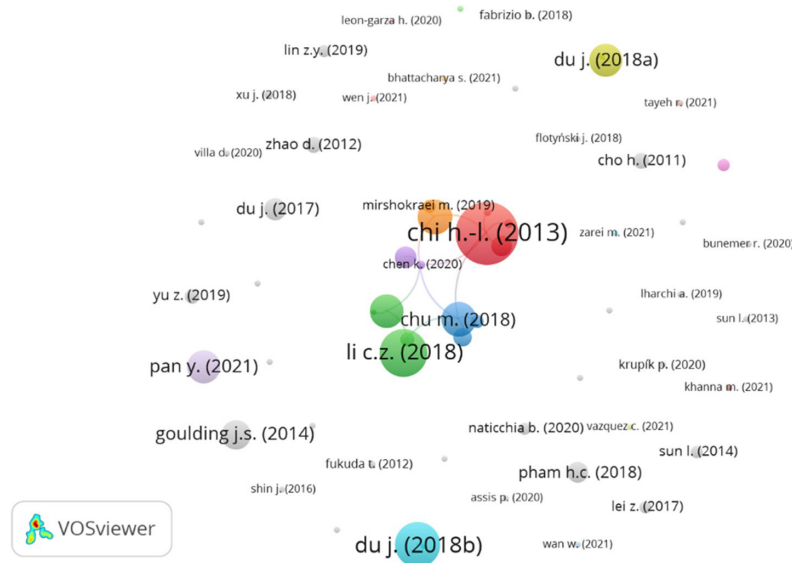


Figura 6
Correlação de citações (grupos de correlações diferenciados por cor).

A Figura 7 mostra que a maioria das publicações apresenta pelo menos um documento de referência compartilhado com outro trabalho da pesquisa. Apenas treze artigos não apresentam nenhuma correlação com os demais.

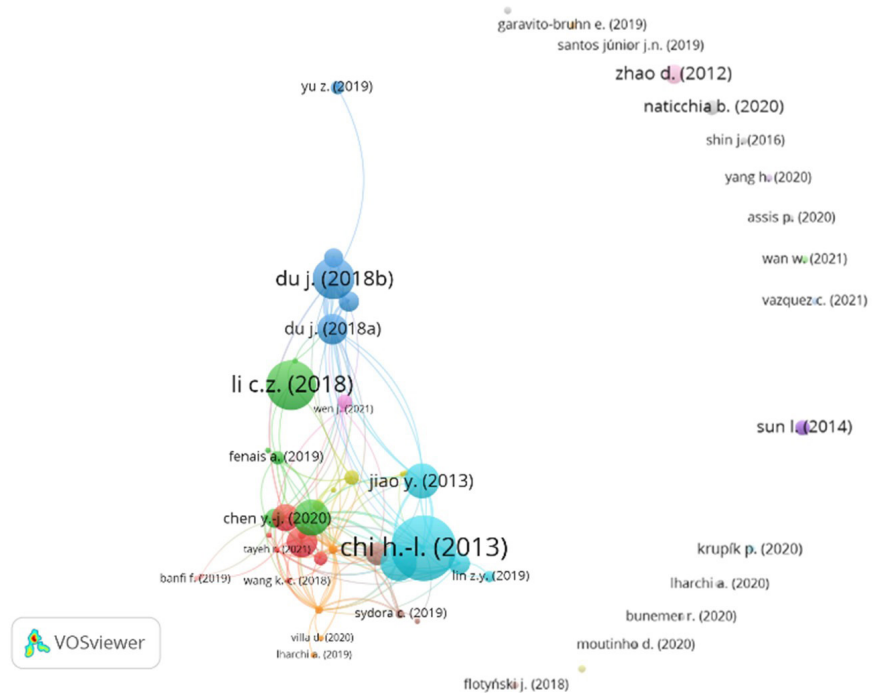


Figura 7
Correlação de referências (grupos de correlações diferenciados por cor).

3.2. Categorização das publicações revisadas

A Figura 8 ilustra a matriz proposta para categorização das publicações revisadas. Inicialmente foram elencadas as tecnologias abordadas em cada documento. Verifica-se que 34% deles tratam exclusivamente da utilização da Realidade Aumentada (RA),

enquanto 36% aplicam a Realidade Virtual (RV). Entretanto, ainda é possível fazer uma subdivisão entre Realidade Virtual imersiva e não imersiva, sendo esta última compreendida essencialmente como uma visualização tridimensional através de monitor. Existem 11 trabalhos que tratam de ambas as tecnologias (RA e RV) e 8 que aplicam a Realidade Mista (RM), sugerindo que esta é uma abordagem ainda mais incipiente.

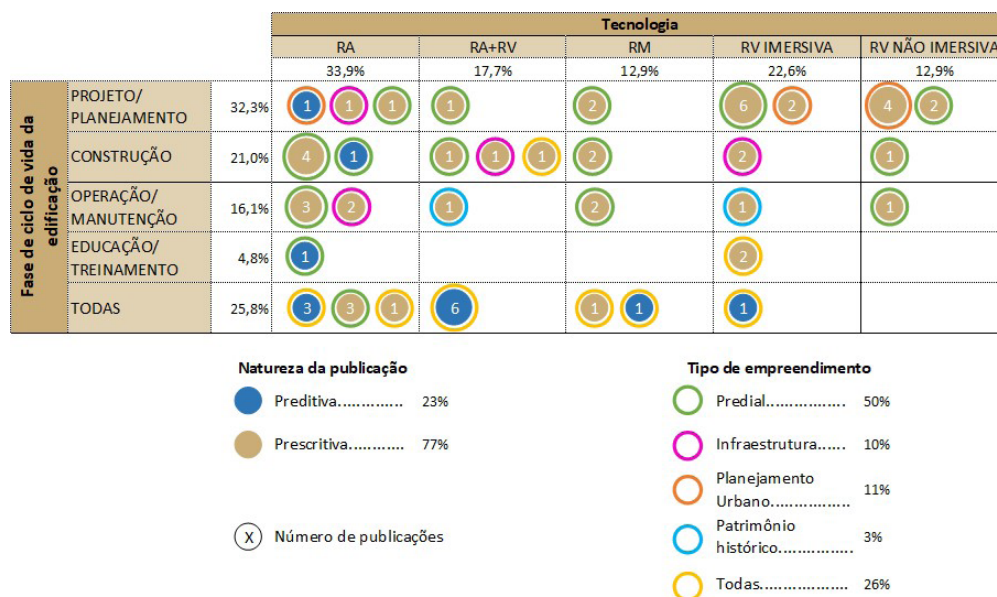


Figura 8
Matriz de categorias aplicadas.

A segunda avaliação feita está relacionada à fase do ciclo de vida da edificação em conjunto com as aplicações mais frequentes (referenciadas por publicações populares a título de exemplificação). A maioria das publicações trata de aplicações do tema no âmbito de desenvolvimento de projetos e planejamento da construção. Nesta fase, as pesquisas são focadas em: melhoria da comunicação do projeto [7]; aprimoramento da consolidação e compartilhamento de informações [8], sincronização entre plataformas [9], análise prévia de estratégias de execução de obra [10].

Na sequência, são identificados trabalhos aplicados à fase de construção. Nesta área são estudadas abordagens de: gerenciamento da evolução construtiva [11, 12]; avaliação de qualidade executiva [13]; centralização de informações e simplificação de leitura de projetos [6]; gerenciamento da segurança da obra [12].

Em terceiro lugar aparecem as publicações focadas na fase de operação. Tais documentos foram identificados a partir de 2016, sendo possível inferir que se trata de uma abordagem mais recente. Estas pesquisas buscam: facilitação do acesso às informações de projeto e dados de manutenção e pesquisa [14]; visualização de instalações embutidas/enterradas e monitoramento de estruturas de difícil acesso [15]; mapeamento de edificações existentes [16].

Existem 16 publicações generalistas que abrangem todas as fases da edificação, focados em explorar o estado da arte e tendências da digitalização na indústria da construção [1, 5] e melhorar a gestão de informações ao longo de todo o seu ciclo de vida [17].

Por fim, foram encontrados 3 trabalhos que focam na área de educação, especificamente voltados ao treinamento sobre segurança na construção [18, 19] e ao ensino de estruturas para alunos de engenharia [20].

Verifica-se que as publicações de projeto são majoritariamente relacionadas à RV. Os artigos de construção e operação utilizam principalmente a tecnologia RA. Entende-se que essa relação segue uma lógica, já que no momento do projeto, normalmente não há um ambiente para visualização aumentada e por isso, se recorre aos ambientes exclusivamente digitais. Por outro lado, o ambiente real se materializa na fase de construção e está consolidado na fase de operação, permitindo e demandando visualização *in loco*.

No âmbito da educação, a aplicação prática é exclusivamente voltada para a RV, sendo a RA uma lacuna ainda a ser explorada.

Também foi conduzida uma caracterização em função do tipo de empreendimento ao qual a publicação se aplica. A maioria é focada em aplicações prediais, mas também se verificam aplicações ao planejamento urbano, obras de infraestrutura e preservação do patrimônio histórico, ainda com vasto campo a ser explorado. Existem 16 artigos generalistas que não possuem uma aplicação definida.

Apesar das categorias identificadas, não se acredita que as aplicações dos estudos sejam restritas à tipologia utilizada, isto é, entende-se que é possível estender as contribuições dos artigos a outras áreas do setor.

Esta pesquisa também propõe uma categorização por natureza da publicação. 77% das publicações possuem uma natureza prescritiva, isto é, têm como objetivo diagnosticar um problema e propor uma solução utilizando as tecnologias RA/RV/RM em nuvem. Os 23% restantes apresentam natureza preditiva, que objetiva discorrer sobre tendências e possíveis aplicações futuras da temática, em sua maioria embasados por mapeamento da literatura e/ou por métodos investigativos (entrevistas, por exemplo).

Os documentos preditivos estão essencialmente relacionados à RA ou à combinação RA/RV. Foram identificadas apenas 2 publicações desta natureza focadas exclusivamente em RV e RM.

De forma majoritária, as publicações que apresentam natureza prescritiva propõem o desenvolvimento de um novo sistema computacional e conduzem testes de uso de tal sistema, através de simulações e amostragem ou aplicação em estudo de caso real. Eles permeiam todos os tipos de empreendimentos e fases do ciclo de vida.

Normalmente estes sistemas integram diferentes ferramentas e na maioria dos casos, consideram o uso do BIM, conceito este que é abordado em 73% dos documentos pesquisados.

Em termos de sugestões para estudos futuros, os artigos normalmente indicam potenciais de aprimoramento dos sistemas computacionais desenvolvidos na publicação, com o intuito de solucionar suas limitações, e ampliação de sua gama de testes. São citadas melhorias a serem perseguidas como o aumento da precisão da localização dos dados [13], da integração de usuários [9], da interoperabilidade de sistemas [7, 18], da capacidade de processamento para modelos complexos [6, 9], da retroalimentação em tempo real [15], do aumento da automação [7], entre outros. Também são indicadas como necessárias as avaliações da experiência do usuário e reais ganhos de qualidade e produtividade com novos sistemas [9, 18].

4. Considerações finais

O presente artigo permitiu identificar o estado atual da produção científica sobre RA/RV em nuvem na indústria da construção a partir de análises cientométricas e categorização das publicações revisadas.

Esta é uma área ainda pouco explorada, um pouco fragmentada em termos de autores e países, mas com alto número de estudos de natureza prescritiva, aplicados a grande diversidade de realidades e com soluções a serem aprimoradas.

As principais lacunas encontradas estão relacionadas à aplicação da realidade mista em geral, às aplicações em empreendimentos diferentes dos prediais, à exploração de trabalhos preditivos em RV e à ampliação dos estudos na área educacional, especialmente relacionados à RA, as quais representam potenciais lacunas para próximas pesquisas.

Considera-se importante destacar a existência de limitações para a presente pesquisa. A amostragem de documentos revela uma temática recente, em desenvolvimento inicial, e é possível que algumas publicações não tenham sido alcançadas pela *string* de busca utilizada. Pesquisas futuras podem incluir outras bases de dados no protocolo de pesquisa.

Referências

- [1] Y. Pan and L. Zhang, "Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends", *Automation in Construction*, vol. 122, pp. 1-21, February 2021. doi: 10.1016/j.autcon.2020.103517
- [2] J. M. D. Delgado, L. Oyedele, P. Demian, and T. Beach, "A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction", *Advanced Engineering Informatics*, vol. 45, pp. 1-21, August 2020. doi: 10.1016/j.aei.2020.101122

- [3] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, "Systematic mapping studies in software engineering", in *International conference on evaluation and assessment in software engineering – EASE'08 (2008)*, Italy, 2008. pp. 68-77.
- [4] V. Cardoso, I. Trevisan, D. A. Cicoella, and R. Waterkemper, "Revisão sistemática de métodos mistos: método de pesquisa para a incorporação de evidências na enfermagem", *Texto & Contexto Enfermagem*, vol. 28, pp. 1-12, April 2019. doi: 10.1590/1980-265X-TCE-2017-0279
- [5] H-L Chi, S-C. Kang, and X. Wang, "Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction", *Automation in Construction*, vol. 33, pp. 116-122, August 2013. doi: 10.1016/j.autcon.2012.12.017
- [6] M. Chu, J. Matthews, and P. E. D. Love, "Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study", *Automation in Construction*, vol. 85, pp. 305-316, January 2018. doi: 10.1016/j.autcon.2017.10.032
- [7] J. Du, Y. Shi, Z. Zou, and D. Zhao, "CoVR: Cloud-Based Multiuser Virtual Reality Headset System for Project Communication of Remote Users", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 144 (2), February 2018. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001426
- [8] S. Moon, M. Pyeon, S. Bae, D. Lee, and S. Han, "Big Data Architecture Design for the Development of Hyper Live Map (HLM)", *Journal of the Korean Society of Surveying*, vol. 34, pp. 207-215, April 2016. doi: 10.7848/ksgpc.2016.34.2.207
- [9] J. Du, Z. Zou, Y. Shi, and D. Zhao, "Zero latency: Real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making", *Automation in Construction*, vol. 85, pp. 51-64, January 2018. doi: 10.1016/j.autcon.2017.10.009
- [10] J. S. Goulding, F. P. Rahimian, and X. Wang, "Virtual reality-based cloud BIM platform for integrated AEC projects", *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 19, pp. 308-325, September 2014.
- [11] C. Z. Li, F. Xue, X. Li, J. Hong, and G. Q. Shen, "An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction", *Automation in Construction*, vol. 89, pp. 146-161, May 2018. doi: 10.1016/j.autcon.2018.01.001
- [12] H. Cho, K. H. Lee, S. H. Lee, T. Lee, H. J. Cho, S. H. Kim, and S. H. Nam, "Introduction of construction management integrated system using BIM in the Honam high-speed railway LOT no. 4-2", in *Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction – ISARC (2011)*, Seoul, Korea, 2011, pp. 1300-1305. doi: 10.22260/isarc2011/0239

- [13] M. Mirshokraei, C. I. De Gaetani, and F. Migliaccio, "A web-based BIM-AR quality management system for structural elements", *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9 (19), pp. 1-14, September 2019. doi: 10.3390/app9193984
- [14] Y.-J. Chen, Y.-S. Lai, and Y.-H. Lin, "BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment", *Automation in Construction*, vol. 110, pp. 1-18, February 2020. doi: 10.1016/j.autcon.2019.103041
- [15] F. Baek, I. Ha, and H. Kim, "Augmented reality system for facility management using image-based indoor localization", *Automation in Construction*, vol. 99, pp. 18-26, March 2019. doi: 10.1016/j.autcon.2018.11.034
- [16] M. A. Athick and S.-Y. Lee, "3D virtual reality model for multi-stories building and utilities with different vertical ownership ID's," in *41st Asian Conference on Remote Sensing – ACRS (2020)*, Deqing, Zhejiang Province, China, 2020.
- [17] J. Xu and W. Lu, "Smart construction from head to toe: A closed-loop lifecycle management system based on IoT", in *Construction Research Congress: Construction Information Technology (2018)*, New Orleans, Louisiana, EUA, 2018, pp. 157-168. doi: 10.1061/9780784481264.016
- [18] H. C. Pham, N.-N. Dao, J.-U. Kim, S. Cho, and C.-S. Park, "Energy-efficient learning system using Web-based panoramic virtual photoreality for interactive construction safety education", *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10 (7), pp. 1-17, July 2018. doi: 10.3390/su10072262
- [19] D. Zhao, W. Thabet, A. P. McCoy, and B. M. Kleiner, "Managing electrocution hazards in the US construction industry using VR simulation and cloud technology", in *Proceedings of the European Conference on Product and Process Modelling – ECPPM (2012)*, Reykjavik, Iceland, 2012, pp. 759-764. doi: 10.1201/b12516-120
- [20] J. Wen, M. Gheisari, S. Jain, Y. Zhang, and R. E. Minchin, "Using Cloud-Based Augmented Reality to 3D-Enable the 2D Drawings of AISC Steel Sculpture: A Plan-Reading Educational Experiment", *Journal of Civil Engineering Education*, vol. 147, pp. 1-11, July 2021. doi: 10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000046