

**Prevenção de acidentes na concepção de projetos no processo BIM: uma
revisão bibliométrica**

Vinícius Francis Braga de Azevedo

Mestrando, UPE, Brasil.
Vinicius.francis.ba@gmail.com

Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani

Professora Doutora, UPE, Brasil.
emilia.rabbani@upe.br

Bianca M. Vasconcelos

Professora Doutora, UPE, Brasil.
bianca.vasconcelos@upe.br

RESUMO

Nas últimas décadas, o desenvolvimento urbano tem sido marcado por uma crescente busca por soluções que promovam a inteligência e a sustentabilidade das cidades. Nesse contexto, a abordagem de prevenção através do projeto (PtD) emerge como uma ferramenta importante para favorecer a segurança e desenvolvimento sustentável dos empreendimentos, desde a concepção até a desconstrução. Este estudo tem como objetivo apresentar um estudo bibliométrico das produções acadêmicas sobre PtD que empregam BIM, contribuindo para o avanço do conhecimento nesse campo e para a construção de cidades mais seguras, inteligentes e sustentáveis. Adotando a metodologia PRISMA e a abordagem PICo, foram analisados 37 artigos. Os resultados destacam um aumento significativo nas publicações, especialmente em 2022, com a liderança da China seguida pelos EUA. Como provável futura tendência de pesquisa, tem-se o uso do PtD para estações de metrô. Periódicos como *Automation in Construction* emergem como influentes nesse campo. A análise de coautoria aponta para colaborações limitadas, enquanto a rede de citações evidencia a influência de periódicos como *Automation in Construction* e *Safety Science*. Conclui-se que o BIM para PtD representa uma área de pesquisa em expansão, com relevância internacional para a construção de cidades mais seguras e eficientes.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem da informação da construção. Segurança no trabalho. Construção sustentável.

1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização e a busca por soluções sustentáveis estão redefinindo o paradigma das cidades modernas. Nesse contexto, o setor da construção civil assume um papel crucial, não apenas como motor econômico, mas também como vetor de transformação para cidades inteligentes e sustentáveis (Angelidou et al., 2018; Berglund et al., 2020). Contudo, enfrenta desafios significativos, especialmente relacionados à segurança no trabalho, tornando-se uma das indústrias com maior incidência de acidentes (Alkaissy et al., 2023; Famakin; Aigbavboa; Molusiwa, 2023). Os impactos desses acidentes vão além das fronteiras dos canteiros de obras, afetando cronogramas, recursos materiais e, mais importante, vidas humanas (Rokooei et al., 2023).

Em consonância com o desenvolvimento sustentável, é imperativo abordar de maneira abrangente os desafios enfrentados pela indústria da construção civil. Mitigar os riscos associados aos acidentes requer uma abordagem holística, que permeie todas as fases do empreendimento, desde a concepção até a desconstrução (Koc; Okudan, 2021; Scopel, 2015). A fase de projeto, em particular, emerge como um estágio crucial, onde decisões estratégicas podem ser tomadas para mitigar riscos inerentes à construção (Hsiao; Hsieh, 2023). Notavelmente, cerca de 24% dos acidentes na construção civil são atribuídos a decisões tomadas durante essa fase (Vasconcelos, 2013).

Neste contexto, o conceito de Prevenção através do Projeto (PtD) ganha destaque como uma abordagem proativa para mitigar riscos ao longo do ciclo de vida de um projeto de construção (Chang et al., 2023). Com os avanços tecnológicos, surge uma série de ferramentas digitais, com destaque para o Building Information Modeling (BIM), que possibilita o desenvolvimento de modelos tridimensionais detalhados, integrando aspectos físicos e dados associados aos elementos do projeto (Addor et al., 2010; Azevedo et al., 2023; Azevedo et al., 2024; Zheng; Fischer, 2023; Rodrigues; Vasconcelos, 2024). Além de facilitar a colaboração e

comunicação entre as partes interessadas, o BIM oferece uma plataforma para a identificação precoce de riscos de segurança na fase de projeto (Porwal et al., 2023; Santos; Ramos, 2019).

Embora estudos anteriores, como os de Jin et al. (2023), Farghaly et al. (2022) e Azevedo e Vasconcelos (2024), tenham lançado luz sobre diversas facetas da abordagem PtD, este trabalho busca complementar o panorama atual ao realizar uma análise bibliométrica específica sobre o uso da tecnologia BIM como ferramenta para auxiliar o PtD. Assim, o objetivo deste artigo é apresentar um estudo bibliométrico das produções acadêmicas sobre PtD que empregam BIM, contribuindo para o avanço do conhecimento nesse campo e para a construção de cidades mais seguras, inteligentes e sustentáveis.

2 METODOLOGIA

Este artigo adotou as diretrizes delineadas na Declaração dos Itens de Relatórios Preferidos para Revisões Sistemáticas e Meta-análises (PRISMA) (Page et al., 2021). Para isso, foi desenvolvido um protocolo de pesquisa, apresentado no Quadro 01. Além disso, para orientar a seleção das palavras-chave empregadas na busca, foi adotada a abordagem PICO (Stern; Jordan; McArthur, 2014).

Quadro 1- Protocolo de pesquisa

| Item | Conteúdo | Item |
|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
| População | BIM, Building Information Modeling | População |
| Interesse | Prevention through Design, Safety by Design, Safety through Design, Design for Safety, Safe design, Design for Construction Safety. | Interesse |
| Contexto | Construction. | Contexto |
| Base de dados | Compendex, Science Direct, Scopus e Web of Science | Base de dados |
| Critérios de exclusão e de qualidade | (CE1) Artigos que não possuam as palavras-chaves da pesquisa em seu título ou resumo; (CQ1) Artigos que não possuam foco na aplicação do BIM para o PtD. (CQ2) Artigos cuja aplicação do BIM integrado ao PtD não é realizada em projetos de concepção de edificações (arquitetura, estrutura e instalações) e de infraestrutura (estrutura ou instalações). | Critérios de exclusão e de qualidade |
| Perguntas da pesquisa | * Quais são as tendências de pesquisas envolvendo BIM e PtD? * Quais são os países e pesquisadores que mais contribuem com publicações sobre o uso de ferramentas BIM para PtD? * Qual foi o crescimento no número de publicações anuais relacionadas ao uso do BIM para PtD? * Como as palavras-chave são utilizadas nos artigos relacionados ao BIM para PtD? | Perguntas da pesquisa |

Fonte: Autores.

Conforme as diretrizes do PRISMA, o estudo se desdobrou em três etapas: identificação, triagem e inclusão. Na etapa de identificação, uma estratégia de busca foi desenvolvida mediante a combinação de palavras-chave e operadores booleanos "AND" e "OR" para criar a seguinte string de busca, (BIM OR "building information modeling") AND

("Prevention through Design" OR "Safety by Design" OR "Safety through Design" OR "Design for Safety" OR "safe design" OR "Design for Construction Safety") AND Construction. Essa string de busca foi utilizada nas bases de dados para selecionar artigos de estudos primários, disponíveis em português, inglês ou espanhol.

No que diz respeito à escolha das bases de dados, foram selecionadas quatro bases com abrangência internacional e relevantes para o campo da construção civil, são elas: Compendex, Science Direct, Scopus e Web of Science. Durante a busca, na identificação dos artigos em cada base de dados, utilizou-se o Microsoft Excel para remover os duplicados da amostra. Posteriormente, na fase de triagem, os artigos foram analisados com base em seus títulos e resumos nas plataformas online das bases de dados, através dessa análise, os artigos que não possuíam relação ao tema da pesquisa através do título, resumo e palavras-chave, foram excluídos conforme o critério de exclusão 1 (CE1). Após isso, os artigos remanescentes foram recuperados das bases de dados para leitura completa e análise conforme o critério de qualidade 1 (CQ1), para remover os artigos que não possuem foco de aplicação do BIM para PtD e o critério de qualidade 2 (CQ2), que visa remover os artigos cuja aplicação do BIM integrado ao PtD não é realizada em projetos de concepção de edificações (arquitetura, estrutura e instalações) e de infraestrutura (estrutura ou instalações). Após a conclusão da fase de triagem, os artigos remanescentes foram incluídos na análise bibliométrica.

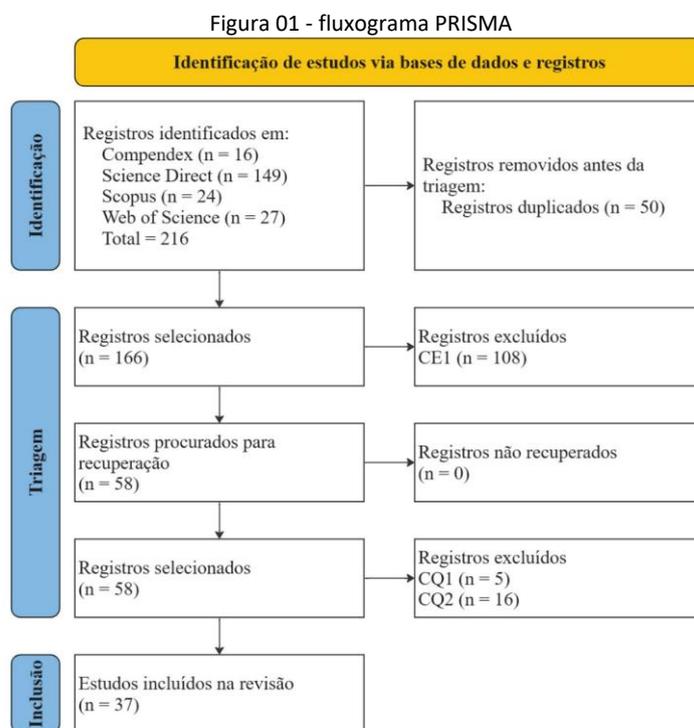
Para a análise bibliométrica, utilizaram-se as metodologias de análise de desempenho e mapeamento científico (Pereira; Rosa; Cunha, 2023). A análise de desempenho tem como objetivo avaliar a produção dos autores e países, com base na análise de suas publicações. Para isso, utilizou-se alguns indicadores bibliométricos de desempenho, como o número de artigos publicados anualmente, quais autores e países mais pesquisam sobre a temática e os periódicos com maior número de publicações envolvendo uso do BIM no PtD. A segunda metodologia, o mapeamento científico, concentra-se na análise da estrutura e dinâmica da produção do conhecimento, gerando representações gráficas das interconexões entre autores, palavras-chave e periódicos (Van Raan, 2004). Para o desenvolvimento do mapeamento científico, utilizou-se o software VOSviewer, uma ferramenta através da matemática e estatística aplicada destina-se a criar e explorar amostras de dados e mapas de conhecimentos, com bases em dados de rede bibliométrica (Arruda *et al.*, 2022; Huang *et al.*, 2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados em duas seções. A primeira aborda o processo de identificação, triagem e inclusão dos estudos das bases de dados. A segunda abrange a análise bibliométrica de desempenho e de mapeamento científico, incluindo indicadores como número de documentos publicados por ano, países com maiores publicações e a visualização de similaridades obtidas com o suporte do VOSviewer.

3.1 Identificação, triagem e inclusão dos estudos

A revisão sistemática foi realizada em outubro de 2023. Na fase da identificação, foram encontrados inicialmente 216 resultados, conforme ilustrado na Figura 01. Dentre os resultados, 16 foram encontrados na base de dados Compendex, 149 na Science Direct, 24 na Scopus e 27 na Web of Science, dentre eles, identificou-se que 50 eram duplicados e foram descontados do quantitativo para a triagem. Em seguida, na fase da triagem, atribuiu-se os critérios de exclusão (CE1) de acordo com a leitura do título e resumo dos artigos, excluindo 108 deles. Os 166 artigos remanescentes foram recuperados das bases de dados para leitura completa e aplicação dos critérios de qualidade, onde cinco artigos foram excluídos por não focar na aplicação do BIM para o PtD e 16 artigos foram excluídos por não possuírem a aplicação do BIM integrado ao PtD em projetos de concepção de edificações (arquitetura, estrutura e instalações) ou de infraestrutura (estrutura ou instalações). Após a fase da triagem, obteve-se 37 artigos inclusos para análise na RSL.

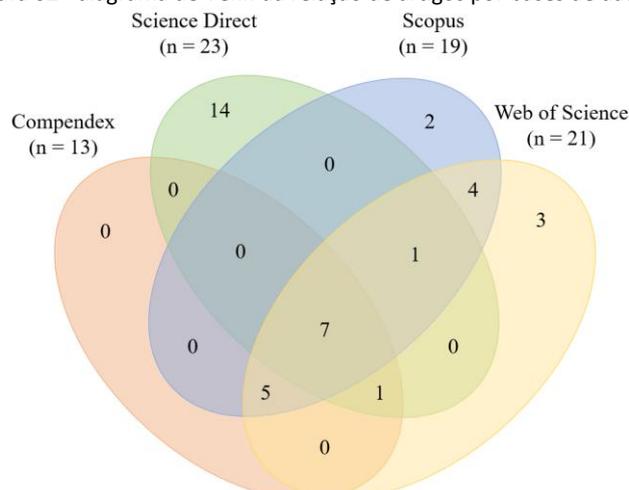


Fonte: autores

3.2 Análise bibliométrica

O diagrama de Venn indicado na Figura 02 expõe a quantidade de artigos inclusos na RSL provenientes de cada uma das bases de dados utilizadas. A Science Direct se sobressai ao apresentar o maior número de artigos que não estavam disponíveis em nenhuma das outras três bases de dados, além de registrar a maior quantidade de artigos inclusos na pesquisa. Em contrapartida, a Compendex apresentou o menor número de artigos inclusos na RSL e todos eles estavam presentes nas demais bases de dados.

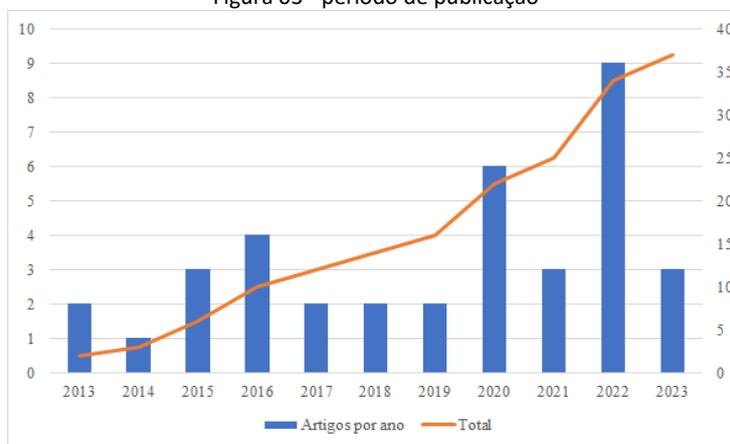
Figura 02 - diagrama de Venn da relação de artigos por bases de dados.



Fonte: autores

De acordo com a Figura 03, os primeiros artigos que abordaram o uso de ferramentas BIM para PtD são datados de 2013, não havendo aumento expressivo de publicações anuais até o ano de 2020, sendo 2022 o ano com maior número de publicações, com nove artigos publicados. Apesar do volume de publicações oscilar com os anos, é evidente o aumento do interesse de desenvolver artigos nessa temática.

Figura 03 - período de publicação

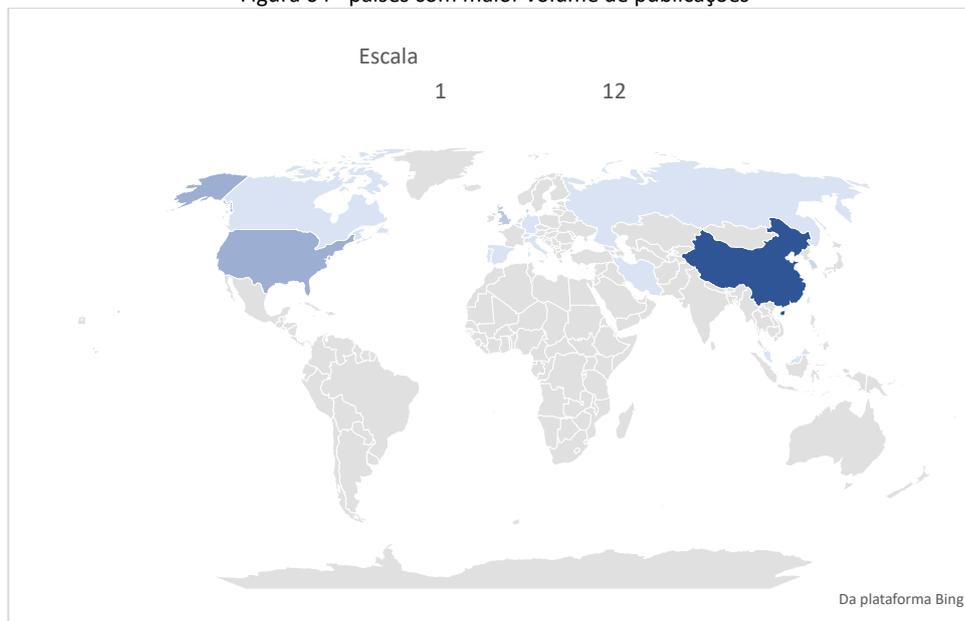


Fonte: autores

Dentre as nacionalidades dos primeiros autores dos artigos, doze estão vinculados às instituições da China, demonstrando ser o país com maior número de publicações sobre ferramentas BIM para PtD, seguido dos Estados Unidos (5), Reino Unido (3), Coréia do Sul (2), Singapura (2) e Dinamarca (2), os demais países que publicaram sobre o tema possuem apenas uma publicação, são eles: Alemanha, Bélgica, Canadá, Espanha, Inglaterra, Irã, Itália, Malásia, Portugal, Rússia e Taiwan. A Figura 04 ilustra um mapa que destaca os países com maior volume de publicações, a intensidade da cor azul indica a quantidade de publicações, sendo mais escuros aqueles com números mais elevados e mais claros os com números menores. Os países exibidos

em tons de cinza, por sua vez, não apresentam publicações nesta área. É perceptível uma concentração notável de publicações em nações localizadas ao norte do mapa, indicando o avanço de pesquisas de ferramentas BIM para PtD nessas regiões.

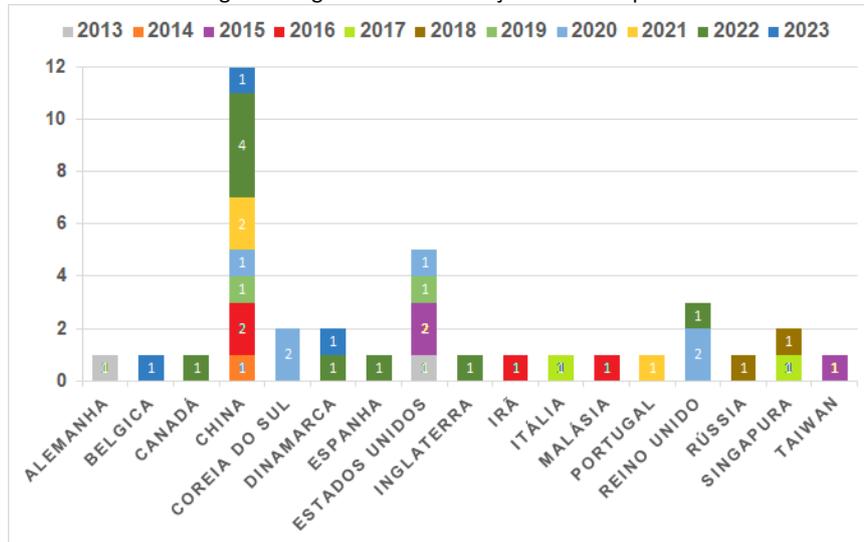
Figura 04 - países com maior volume de publicações



Fonte: autores

A Figura 05 exibe um gráfico que mostra a relação entre o ano de publicação e o país de origem das pesquisas. Essa representação visual permite observar o volume de publicações em diferentes países e os anos correspondentes. A Alemanha e Estados Unidos foram os primeiros países a publicarem sobre o uso do BIM para PtD, em 2013. Em 2014, percebe-se o início da participação da China na pesquisa, sendo em 2022 o ano com maior publicação encontrado em um país, com quatro publicações de autores chineses.

Figura 05 - gráfico de distribuição físico-temporal

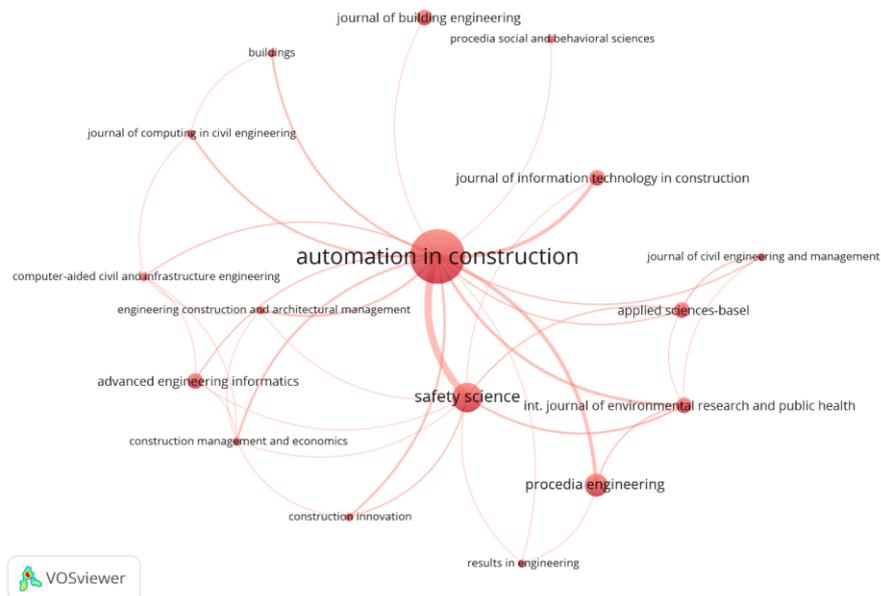


Fonte: autores

A Figura 06 ilustra a rede bibliométrica da análise de citações dos periódicos. Os arcos que interligam os periódicos indicam que os artigos de uma revista citam os artigos da outra. A largura desses arcos está diretamente relacionada à frequência de citações recebidas ou realizadas por uma determinada base de periódicos em relação a outra. Observa-se que, dentre os periódicos analisados, a Automation in Construction e a Safety Science possuem o arco com maior largura, se destacando devido à presença de citações mútuas entre suas bases de dados.

A rede é formada por um conjunto de 17 revistas, conectadas entre si, dentre os 19 periódicos, dois periódicos não estão na rede por não possuírem relações de citação com os demais. O tamanho dos nós indica a quantidade de relação de citação que os artigos de um periódico têm com os demais, evidenciando o Automation in Construction como o periódico com mais artigos citados e que citam os demais periódicos.

Figura 06 - rede bibliométrica dos periódicos

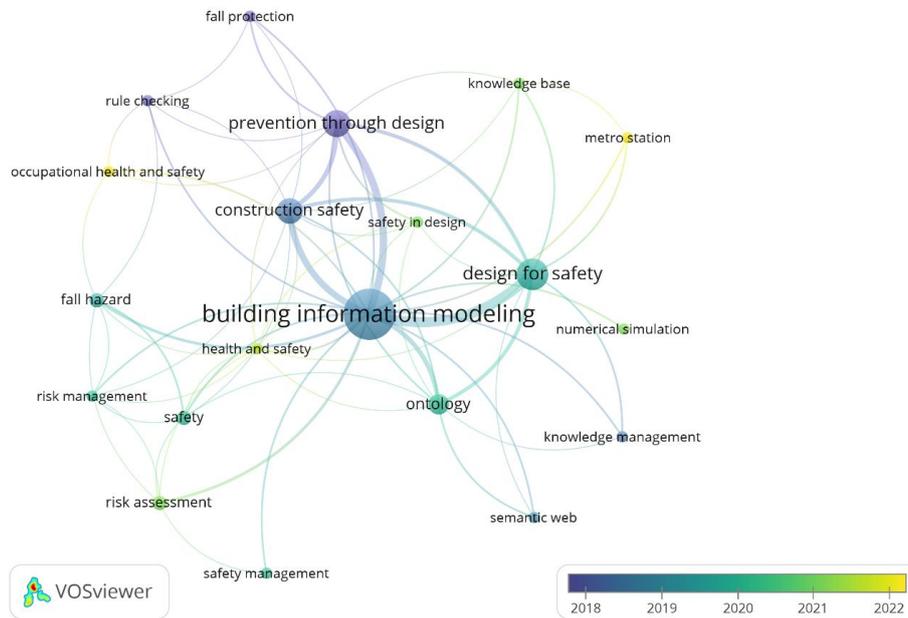


Fonte: autores

A Figura 07 indica a rede bibliométrica com as palavras-chave mais utilizadas nos artigos. Na Figura, o tamanho do nó representa a quantidade de vezes que a palavra-chave foi utilizada nos artigos e os arcos que as ligam indicam que as palavras-chave foram utilizadas comitadamente em artigos, quanto maior for a espessura do arco, mais comum foi o uso das palavras-chave em conjunto. Percebe-se que o termo mais comum é Building Information Modeling, com 32 ocorrências, seguido por design for safety (13), prevention through design (10), Construction Safety (9), Ontology (6) e os demais termos ocorreram de uma a três vezes em artigos da RSL.

A rede está dividida em dezesseis agrupamentos de cores, indicando as palavras-chave que apresentam similaridades e interações entre temas correlatos, como por exemplo, o cluster verde escuro, indica a possibilidade de utilizar regras automáticas de detecção de riscos para quedas em altura. O agrupamento rosa indica a integração de ontologia com semântica web para realizar verificação automática de conformidade no projeto. O agrupamento em ciano indica o uso de base de conhecimentos para o desenvolvimento de plug-ins de design for safety. O agrupamento lavanda indica trabalhos que envolvem rotas de fuga de incêndio. A formação dos agrupamentos fornece possibilidades de futuras RSLs com essas palavras-chave, buscando pesquisar temáticas mais específicas.

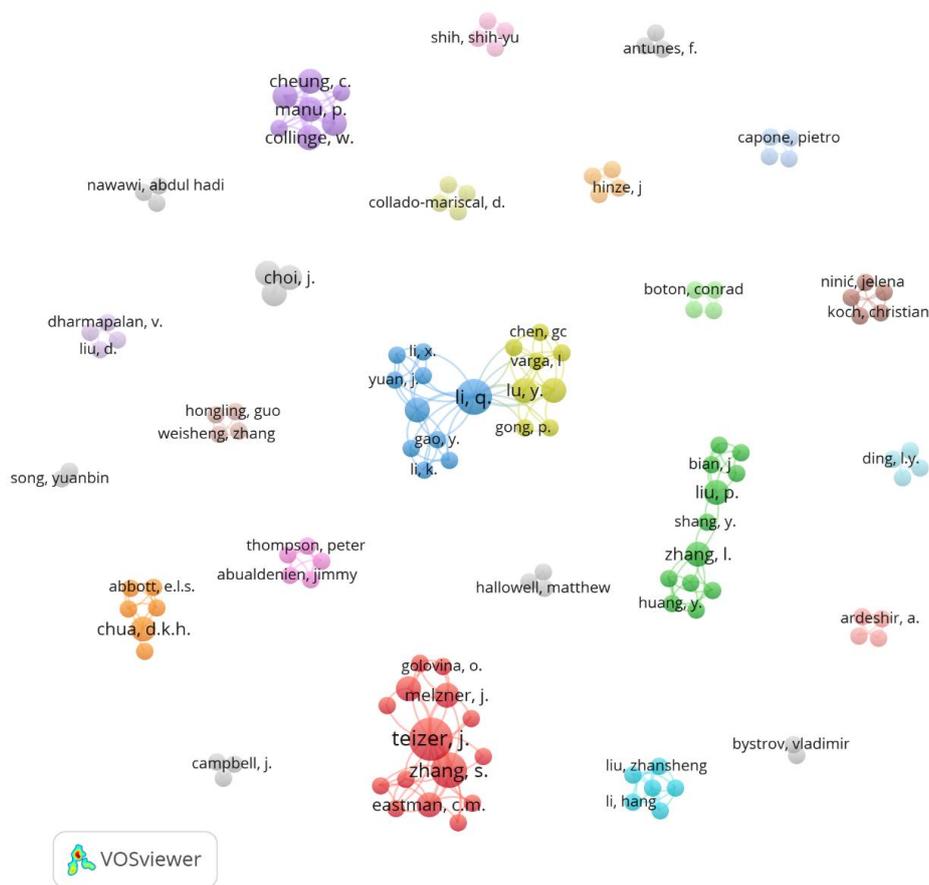
Figura 08 - rede bibliométrica com período de palavras-chave



Fonte: autores

A Figura 09 representa a rede bibliométrica dos vínculos de coautoria. Os arcos representam os vínculos de coautoria entre os autores, e quanto mais forte o vínculo, maior é o nó com o nome do autor. A partir da imagem, é possível observar a formação de 25 conjuntos de cores, que denotam grupos de autores que frequentemente colaboram em suas publicações. A maioria desses conjuntos estão dispersos, sem interconexões, o que sugere que a pesquisa sobre ferramentas BIM para PtD é conduzida com limitada colaboração entre os autores, possivelmente devido a restrições institucionais e/ou regionais.

Figura 09 - rede bibliométrica de coautoria



Fonte: autores

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do BIM para o PtD é um tema de pesquisa com crescente interesse, e o aumento nas publicações ao longo dos anos, culminando em um pico em 2022, indica uma maior conscientização sobre os benefícios do BIM no aprimoramento da segurança em projetos de construção, resultando em ambientes de trabalho mais seguros e eficientes na indústria da construção. A análise das tendências de publicações revelou que a temática de pesquisa de PtD para projetos de estação de metrô é uma provável futura tendência. Além disso, a disseminação global desse tema foi notável, com contribuições significativas de autores e instituições de diversos países. O destaque da China como líder nesse campo ressalta a relevância internacional da abordagem BIM para PtD.

Como limitações deste estudo, a restrição à análise de artigos em português, inglês e espanhol, bem como a utilização de apenas quatro bases de dados específicas, pode ter limitado a abrangência dos resultados. Além disso, a análise bibliométrica, embora forneça informações sobre as tendências de pesquisa, não aborda diretamente a implementação prática do uso do BIM para PtD na indústria da construção.

Portanto, as futuras pesquisas podem se concentrar em preencher essa lacuna, avaliando a implementação real e o impacto dessas práticas no ambiente de trabalho. Questões sobre como o BIM pode ser efetivamente aplicado para PtD, seu impacto na segurança e suas limitações devem ser exploradas mais a fundo. Além disso, ampliar o escopo para incluir uma variedade maior de idiomas e fontes de dados pode proporcionar uma compreensão mais abrangente das práticas de BIM para PtD em escala global. Investigar como essas práticas são implementadas na indústria e seu impacto real na segurança e eficiência dos projetos também é fundamental para avançar nessa área de pesquisa e promover o desenvolvimento de cidades mais seguras e sustentáveis.

5 REFERÊNCIAS

- ADDOR, Miriam Roux A. *et al.* Colocando o "i" no BIM. **arq.urb**, n. 4, p. 104-115, 2010.
- ALKAISSY, Maryam *et al.* Enhancing construction safety: Machine learning-based classification of injury types. **Safety science**, v. 162, p. 106102, 2023.
- ANGELIDOU, Margarita *et al.* Enhancing sustainable urban development through smart city applications. **Journal of Science and Technology Policy Management**, v. 9, n. 2, p. 146-169, 2018.
- ARRUDA, Humberto *et al.* VOSviewer and bibliometrix. **Journal of the Medical Library Association: JMLA**, v. 110, n. 3, p. 392, 2022.
- AZEVEDO, Vinícius Francis Braga de; LIRA, Hiran Ferreira de; MORAES, Andréa Benício de; VASCONCELOS, Bianca M. Aplicação do BIM na educação: ampliando a eficácia do ensino de projeto por meio da integração com a realidade aumentada. **ENCONTRO NACIONAL SOBRE O ENSINO DE BIM**, Porto Alegre, v. 5, n. 00, p. 1–1, 2023. DOI: 10.46421/enebim.v5i00.3475. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/enebim/article/view/3475>. Acesso em: 1 jun. 2024.
- AZEVEDO, V. F. B. de; RODRIGUES, I. A.; SILVA NETO, V. E. da; SOARES, W. de A.; VASCONCELOS, B. USO DE METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO DE ARQUITETURA NA GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 19, n. 00, p. e024094, 2024. DOI: 10.21723/riaee.v19i00.18463.
- AZEVEDO, V. F. B.; VASCONCELOS, B. M. Prevenção de acidentes na construção civil: uma análise da utilização de ferramentas digitais para mitigação de riscos na etapa de projeto. **arq.urb**, [S. l.], n. 39, p. 662, 2024. DOI: 10.37916/arq.urb.vi39.662. Disponível em: <https://revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/662>.
- AZEVEDO, V.; LIRA, H.; MORAES, A.; VASCONCELOS, B. Uso da realidade aumentada no ensino de projeto de engenharia civil. **arq.urb**, [S. l.], n. 36, p. 67–79, 2023. DOI: 10.37916/arq.urb.vi36.645. Disponível em: <https://revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/645>.
- BERGLUND, Emily Zechman *et al.* Smart infrastructure: a vision for the role of the civil engineering profession in smart cities. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 26, n. 2, p. 03120001, 2020.
- BYSTROV, Vladimir; KOZAK, Nikolay. Issues and concepts of road transport structures' development and provision of traffic and pedestrian safety. **Transportation research procedia**, v. 36, p. 103-107, 2018.
- CHANG, Soowon *et al.* Proof-of-Concept Study for Model-Based Construction Safety Diagnosis and Management Driven by Prevention through Design. **Journal of Management in Engineering**, v. 39, n. 6, p. 04023044, 2023.

COLLADO-MARISCAL, Darío *et al.* Proposal for the integration of the assessment and management of electrical risk from overhead power lines in BIM for road projects. **International journal of environmental research and public health**, v. 19, n. 20, p. 13064, 2022.

COLLINGE, William H. *et al.* BIM-based construction safety risk library. **Automation in Construction**, v. 141, p. 104391, 2022.

DING, L. Y. *et al.* Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology. **Safety science**, v. 87, p. 202-213, 2016.

FAMAKIN, Ibukun Oluwadara; AIGBAVBOA, Clinton; MOLUSIWA, Ramabodu. Exploring challenges to implementing health and safety regulations in a developing economy. **International Journal of Construction Management**, v. 23, n. 1, p. 89-97, 2023.

FARGHALY, Karim *et al.* Construction safety ontology development and alignment with industry foundation classes (IFC). **Journal of Information Technology in Construction**, v. 27, p. 94-108, 2022.

FARGHALY, Karim *et al.* Digital information technologies for prevention through design (PtD): a literature review and directions for future research. **Construction Innovation**, v. 22, n. 4, p. 1036-1058, 2022.

GETULI, Vito *et al.* BIM-based code checking for construction health and safety. **Procedia engineering**, v. 196, p. 454-461, 2017.

HARDISON, Dylan; HALLOWELL, Matthew; LITTLEJOHN, Ray. Does the format of design information affect hazard recognition performance in construction hazard prevention through design reviews?. **Safety science**, v. 121, p. 191-200, 2020.

HARE, Billy; KUMAR, Bimal; CAMPBELL, Julie. Impact of a multi-media digital tool on identifying construction hazards under the UK construction design and management regulations. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 25, p. 482-499, 2020.

HONGLING, Guo *et al.* BIM and safety rules based automated identification of unsafe design factors in construction. **Procedia engineering**, v. 164, p. 467-472, 2016.

HSIAO, Chung-Jung; HSIEH, Shang-Hsien. Real-time fire protection system architecture for building safety. **Journal of Building Engineering**, v. 67, p. 105913, 2023.

HUANG, Yu-Jie *et al.* Analysis and visualization of research on resilient cities and communities based on VOSviewer. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 12, p. 7068, 2022.

JIN, Ziyu *et al.* Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, n. 11, p. 2637-2654, 2019.

JIN, Ziyu *et al.* Analysis of prevention through design studies in construction: A subject review. **Journal of safety research**, v. 84, p. 138-154, 2023.

JOHANSEN, Karsten W.; SCHULTZ, Carl; TEIZER, Jochen. Hazard ontology and 4D benchmark model for facilitation of automated construction safety requirement analysis. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, 2023.

MALEKITABAR, Hassan *et al.* Construction safety risk drivers: A BIM approach. **Safety science**, v. 82, p. 445-455, 2016.

KIM, Inhan; LEE, Yongha; CHOI, Jungsik. BIM-based hazard recognition and evaluation methodology for automating construction site risk assessment. **Applied sciences**, v. 10, n. 7, p. 2335, 2020.

KOC, Kerim; OKUDAN, Ozan. Assessment of life cycle risks of deconstruction in urban regeneration projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 10, p. 04021137, 2021.

LEE, Yongha; KIM, Inhan; CHOI, Jungsik. Development of BIM-based risk rating estimation automation and a design-for-safety review system. **Applied Sciences**, v. 10, n. 11, p. 3902, 2020.

LI, Beidi *et al.* Towards a unifying domain model of construction safety, health and well-being: SafeConDM. **Advanced Engineering Informatics**, v. 51, p. 101487, 2022.

LIU, Ping *et al.* A hybrid PSO–SVM model based on safety risk prediction for the design process in metro station construction. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 5, p. 1714, 2020.

LIU, Zhansheng *et al.* A novel numerical approach and experimental study to evaluate the effect of component failure on spoke-wheel cable structure. **Journal of Building Engineering**, v. 61, p. 105268, 2022.

LIU, Ping; SHANG, Yongtao; ZHANG, Lei. A design for safety (DFS) framework for automated inspection risks in metro stations by integrating a knowledge base and building information modeling. **International journal of environmental research and public health**, v. 20, n. 6, p. 4765, 2023.

LU, Ying *et al.* BIM-integrated construction safety risk assessment at the design stage of building projects. **Automation in Construction**, v. 124, p. 103553, 2021.

MELZNER, Jürgen *et al.* A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 6, p. 661-674, 2013.

NINIĆ, Jelena *et al.* Integrated parametric multi-level information and numerical modelling of mechanised tunnelling projects. **Advanced Engineering Informatics**, v. 43, p. 101011, 2020.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **International Journal of Surgery**, Inglaterra, v. 88, p. 105906, 2021.

PENG, Le; CHUA, David KH. Decision support for mobile crane lifting plan with Building Information Modelling (BIM). **Procedia Engineering**, v. 182, p. 563-570, 2017.

PEREIRA, Ricardo; ROSA, Kellyn Cliciane Mendes; ALMEIDA CUNHA, Cristiano José Castro. TEORIA IMPLÍCITA DA LIDERANÇA: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E MAPEAMENTO CIENTÍFICO. **Revista PRETEXTO**, v. 24, n. 3, 2023.

PORWAL, Atul *et al.* The integration of building information modeling (BIM) and system dynamic modeling to minimize construction waste generation from change orders. **International Journal of Construction Management**, v. 23, n. 1, p. 156-166, 2023.

QI, Jia *et al.* Use of building information modeling in design to prevent construction worker falls. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 28, n. 5, p. A4014008, 2014.

SANTOS, L.; RAMOS, F. Building Information Modeling no ensino de Arquitetura e Urbanismo. **arq.urb**, n. 19, p. 19–35, 2019.

SCOPEL, Vanessa Guerini. Percepção do ambiente e a influência das decisões arquitetônicas em espaços de trabalho. **arq.urb**, n. 13, p. 153-170, 2015.

RODRIGUES, Fernanda; ANTUNES, Flávio; MATOS, Raquel. Safety plugins for risks prevention through design resourcing BIM. **Construction Innovation**, v. 21, n. 2, p. 244-258, 2021.

RODRIGUES, Igor; VASCONCELOS, Bianca. Análise crítica do papel do BIM na gestão da segurança do trabalho na indústria da construção. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 15, n. 00, p. e024004, 2024.

ROKOOEI, Saeed *et al.* Virtual reality application for construction safety training. **Safety science**, v. 157, p. 105925, 2023.

STERN, Cindy; JORDAN, Zoe; MCARTHUR, Alexa. Developing the review question and inclusion criteria. **AJN The American Journal of Nursing**, v. 114, n. 4, p. 53-56, 2014.

TAKIM, Roshana; ZULKIFLI, Muhammad Hanafi; NAWAWI, Abdul Hadi. Integration of automated safety rule checking (ASRC) system for safety planning BIM-based projects in Malaysia. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 222, p. 103-110, 2016.

TANG, Yuchun *et al.* BIM-based safety design for emergency evacuation of metro stations. **Automation in Construction**, v. 123, p. 103511, 2021.

TEDONCHIO, Christian Tiaya *et al.* Digital mock-ups as support tools for preventing risks related to energy sources in the operation stage of industrial facilities through design. **Results in Engineering**, v. 16, p. 100690, 2022.

VAN RAAN, Anthony FJ. Measuring science. **Handbook of quantitative science and technology research**, p. 19-50, 2004.

VASCONCELOS, B. **Modelo de gestão de prevenção de acidentes para a fase de concepção**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

WANG, Shih-Hsu *et al.* Applying building information modeling to support fire safety management. **Automation in construction**, v. 59, p. 158-167, 2015.

WU, Bing; SONG, Yuanbin. Visual Coding of Intents for Safety of Substation Design. **Procedia Computer Science**, v. 208, p. 36-44, 2022.

XIAHOU, Xiaer *et al.* Automatic identification and quantification of safety risks embedded in design stage: a BIM-enhanced approach. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 28, n. 4, p. 278–291-278–291, 2022.

YAKHOU, Nazim *et al.* The integration of building information modelling and fire evacuation models. **Journal of Building Engineering**, v. 63, p. 105557, 2023.

YUAN, Jingfeng *et al.* Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base. **Automation in construction**, v. 102, p. 86-104, 2019.

ZHANG, Sijie *et al.* BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. **Safety science**, v. 72, p. 31-45, 2015.

ZHANG, Sijie; BOUKAMP, Frank; TEIZER, Jochen. Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA). **Automation in Construction**, v. 52, p. 29-41, 2015.

ZHANG, Sijie *et al.* Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. **Automation in construction**, v. 29, p. 183-195, 2013.

ZHENG, Junwen; FISCHER, Martin. Dynamic prompt-based virtual assistant framework for BIM information search. **Automation in Construction**, v. 155, p. 105067, 2023.

ZHOU, Yilun *et al.* A design for safety (DFS) semantic framework development based on natural language processing (NLP) for automated compliance checking using BIM: The case of China. **Buildings**, v. 12, n. 6, p. 780, 2022.