

## UMA REVISÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE WEB SEMÂNTICA NA REPRESENTAÇÃO DE MODELOS BIM

Bruno Thiago Rego Valeriano Silva, Maryangela Geimba De Lima

Instituto Tecnológico de Aeronáutica/Departamento de Engenharia Civil, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias - 12228-900 - São José dos Campos-SP, Brasil,  
bruno.valeriano@ga.ita.br, magdlima@gmail.com.

### Resumo

Building Information Modeling (BIM) integra conceitos e elementos de construção em um ambiente digital, gerando grandes volumes de dados complexos e inter-relacionados. Este trabalho revisa o estado da arte sobre o uso de tecnologias da web semântica para o processamento e gerenciamento desses dados BIM. Através de uma revisão sistemática e análise bibliométrica, foram identificadas tendências de pesquisa e soluções inovadoras, como a utilização de RDF e ontologias como ifcOWL, que eliminam ambiguidades e promovem uma interpretação precisa dos dados de projeto. A integração dessas tecnologias com ferramentas de inteligência artificial automatiza valorações, verificações e a extração de informações, melhorando a precisão das análises e a qualidade das tomadas de decisão. Este estudo também discute avanços na interoperabilidade entre diferentes sistemas e disciplinas, possibilitando uma colaboração mais eficiente e coesa em projetos da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), evidenciando um futuro promissor para a aplicação dessas tecnologias emergentes.

**Palavras-chave:** Building Information Modeling. Web Semântica. Resource Description Framework. Ontologia.

**Área do Conhecimento:** Engenharia Civil.

### Introdução

*Building Information Modeling* (BIM), traduzido como modelagem da informação da construção, busca representar em um ambiente digital os conceitos, elementos e a relação entre elementos de um projeto de construção. Dada essa natureza, altamente relacional e com uma grande quantidade de informações geradas, pesquisadores passaram a buscar alternativas para a representação e gerenciamento desses dados, de modo que automatizações envolvendo a checagem por regras ou a extração de informações possam ser facilmente integradas no fluxo de projeto. Com esse intuito, a utilização de tecnologias da web semântica se demonstrou como uma opção viável e promissora, sendo capaz de representar uma grande quantidade de conceitos e a relação entre eles em um ambiente facilmente interpretável por sistemas computacionais e com uma base normativa consolidada (Wang, 2023; World Wide Web Consortium, 2019).

Apesar dessas tecnologias relacionadas com web semântica terem sido especialmente desenvolvidas para a integração entre computadores, permitindo a fácil troca de informações através da web, seu uso pode ser expandido para o ambiente construído. Além de representar informações em uma estrutura de dados que aceita facilmente a extensibilidade e a representação de relações, sendo ela a estrutura de grafos, a partir do *Resource Definition Framework* (RDF), o uso de ontologias permite identificar, sem ambiguidades, o real significado dos conceitos e abstrações, garantindo que a informação seja interpretada de forma correta. Com isso, sistemas de inferência passam a ser capazes de deduzir informações não modeladas e, inclusive, corrigir erros e expandir a rede de conhecimento representada pelo projeto (Liu *et al.*, 2022; Wang; Sacks; Yeung, 2022).

Outra abordagem facilitada pela incorporação de tecnologias de web semântica é a validação de modelos com base em regras, sejam elas normas ou boas práticas organizacionais. A partir da validação da estrutura do grafo responsável por representar o modelo sendo analisado, é possível extrair informações sobre intenções de design e verificar se as informações presentes são suficientes para subsidiar análises posteriores, como simulações energéticas e extração de quantitativos. Essa estratégia é ainda impulsionada por avanços recentes em modelos de inteligência artificial baseados

em modelos de linguagem, uma vez que estes permitem a interpretação de modelos não estruturados e a automatização da formalização de regras legíveis por computadores (Hagedorn; Pauwels; König, 2023; Pauwels; van den Bersselaar; Verhelst, 2024).

Com isso, este trabalho apresenta uma revisão do estado da arte da utilização de tecnologias de web semântica no contexto da elaboração de projetos de produtos da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), realizando uma análise bibliométrica e explorando alguns dos esforços da comunidade *Linked Building Data* (LBD). Além disso, são apresentadas propostas relevantes encontradas na literatura, que destacam como o uso da web semântica pode promover avanços na qualidade dos projetos da indústria AEC, por meio de validações, enriquecimento semântico e aprimoramento da interoperabilidade entre equipes e disciplinas de projeto.

## Metodologia

Para identificar as tendências e mapear a literatura relevante sobre a utilização de tecnologias de web semântica para o gerenciamento de informações geradas a partir de modelos BIM, foi realizada uma revisão sistemática da literatura. A obtenção dos dados e das publicações pertinentes foi conduzida a partir da base de publicações Scopus, tendo como critério de busca a *string* de consulta definida como: “*Linked Building Data*” OU ((*BIM* OU “*Building Information Model*”) E (“*Semantic web*” OU *RDF* OU “*Resource Description Framework*” OU “*Ontology*”)), sendo que esses termos deveriam estar presentes no título, resumo ou lista de palavras-chave do documento. Além disso, os documentos foram filtrados para aqueles cuja área estava relacionada à engenharia, publicados em inglês e com o tipo de documento como artigo ou revisão. A análise dos dados foi realizada para uma pesquisa conduzida no dia 14 de agosto de 2024 (Aria; Cuccurullo, 2017).

Uma segunda etapa da revisão consistiu na identificação de publicações relevantes para o tema e na sua avaliação e extração de conceitos relevantes. Dessa forma, foi possível identificar, além da visão holística providenciada pela análise bibliométrica, soluções propostas por pesquisadores para a superação de lacunas no conhecimento envolvendo BIM a partir da utilização de tecnologias de web semântica.

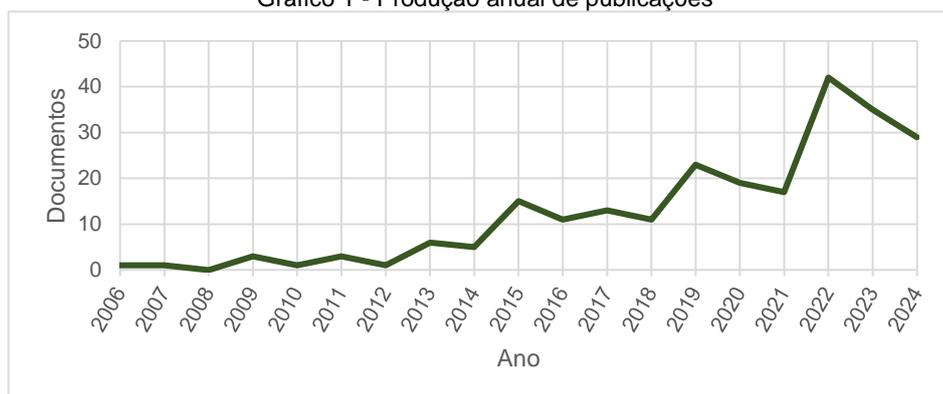
## Resultados

A busca por publicações na base Scopus culminou na identificação de 236 documentos relacionados à utilização de tecnologias de web semântica para o gerenciamento de informações geradas a partir de BIM, com o primeiro artigo publicado em 2006 e um crescimento anual médio de publicações de aproximadamente 20%, conforme indicado pelo Gráfico 1, que traz a quantidade de publicações anuais. Dentre os autores mais produtivos, destaca-se o trabalho de Pieter Pauwels, com 13 trabalhos publicados na área, contribuindo com pesquisas tanto na sugestão de estratégias para a definição de um ifcOWL usável, a partir de arquivos EXPRESS (Pauwels; Terkaj, 2016), até a proposta de utilização de tecnologias de web semântica para a automatização da checagem de projetos (Pauwels; van den Bersselaar; Verhelst, 2024). As informações trazidas pelo Gráfico 2 indicam um alto número de publicações oriundas da China, Reino Unido e Estados Unidos, tendo como principal periódico a revista *Automation in Construction*, responsável por 73 (31,3%) das publicações, seguida pela *Buildings*, com 23 (10%).

Analisando as palavras-chave dos documentos, temas que relacionam web semântica, *Industry Foundation Classes* (IFC) e interoperabilidade a conceitos como design arquitetônico e BIM se mostraram como temas centrais, de importância significativa para a área em questão. IFC é o principal formato de interoperabilidade para sistemas baseados em BIM, e a sua utilização para alimentar grafos baseados em tecnologias de web semântica tem sido explorada, tanto como uma fonte para definir ontologias quanto como fonte de dados brutos provenientes de softwares de modelagem, de forma que ferramentas especializadas possam ser utilizadas na definição de estruturas baseadas em RDF.

Por fim, identificou-se uma tendência recente para a utilização de tecnologias emergentes, como modelos avançados de aprendizado de máquina, como aqueles baseados em modelos de linguagem, de forma que possam auxiliar tanto na automação de sistemas quanto na conversão de dados não estruturados, como documentos e contratos, em regras formalizadas, legíveis por computador. Dessa forma, a integração de inteligência artificial ao fluxo de trabalho de projetos de construção passa a ser favorecida pela modelagem semântica e baseada em grafos, permitindo que inferências sobre o modelo

Gráfico 1 - Produção anual de publicações



Fonte: O autor

Gráfico 2 - Produção científica por países



Fonte: O autor

possam ser realizadas de forma automática, facilitando o enriquecimento dos dados e possibilitando análises mais precisas e assertivas (Pauwels; van den Bersselaar; Verhelst, 2024; Wang *et al.*, 2023).

## Discussão

A prática atual de federação de projetos é incapaz de representar o vínculo entre informações provenientes de fontes diversas, com exceção da integração visual de projetos ou da detecção de interferências entre a geometria de objetos. Isso pode ser atribuído à complexidade que acompanha a alta variabilidade de informações e formatos dos dados. Essas dificuldades, similares às aquelas enfrentadas pelos profissionais responsáveis pela troca de informações através de uma rede conectada de computadores, fizeram com que pesquisadores identificassem nas tecnologias de web semântica uma série de abordagens capazes de mitigar, ou até solucionar, alguns dos problemas encontrados na indústria AEC (Pauwels *et al.*, 2011).

Um dos pilares da utilização de tecnologias de web semântica é a definição de uma base de conceitos e terminologias, ou ontologia, de forma que ambiguidades sejam evitadas e as informações possam ser devidamente interpretadas. Para suprir essa necessidade, algumas ontologias foram propostas por pesquisadores, de forma que disciplinas da construção possam ter seus conceitos devidamente representados, permitindo a posterior utilização por sistemas de inferência baseados em RDF.

Dentre as ontologias propostas para utilização no contexto do BIM, destaca-se a denominada ifcOWL, que consiste em utilizar as definições e estruturas definidas pelo esquema IFC para o estabelecimento de um conjunto semântico que possa ser utilizado de maneira prática, aproveitando os anos de desenvolvimento e os esforços da buildingSMART em estabelecer padrões abertos para a construção, denominados como OpenBIM (Beetz; Leeuwen; Vries, 2009; Pauwels; Terkaj, 2016).

Um próximo passo importante para a integração de tecnologias de web semântica é estabelecer estratégias e, conseqüentemente, sistemas capazes de converter dados exportados a partir de

ferramentas BIM, principalmente aqueles representados a partir do IFC, para uma estrutura baseada em grafos, utilizando RDF. Com esse objetivo, ferramentas responsáveis pela interpretação de arquivos BIM e a produção de grafos foram propostas, tanto como softwares independentes ou como soluções integradas aos sistemas de criação de modelos BIM, a partir de *plugins* (Tchouanguem Djuedja *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2023).

Uma vez que os dados tenham sido convertidos, passa a ser possível a sua utilização para realizar validações e análises a partir das informações do modelo. A facilidade da representação de relações que a estrutura de grafos apresenta permite que intenções de design e vínculos entre elementos possam ser simulados e avaliados a partir de sistemas de verificação, possibilitando a checagem quanto à adequação do projeto a normas, leis e até padrões organizacionais de boas práticas (Hagedorn; Pauwels; König, 2023).

Uma das formas de validação apresentadas para estruturas representadas a partir de RDF é a utilização da *Shapes Constraint Language* (SHACL), uma linguagem desenvolvida especificamente para a validação de grafos RDF. SHACL teve sua utilização proposta como uma alternativa para representar regras extraídas a partir de requisitos de projeto. Apesar da limitação em representar restrições complexas, como aquelas relacionadas a geometrias, ou vagas, como restrições subjetivas relacionadas principalmente a aspectos sensoriais do projeto, como percepções visuais, sua utilização apresenta vantagens, uma vez que permite realizar o fluxo completo de validação, incluindo a geração de relatórios de inconsistências (Eastman *et al.*, 2009; Pauwels; van den Bersselaar; Verhelst, 2024).

Visando estabelecer um método para avaliar o controle de acessos de uma edificação, analisando, inclusive, rotas de segurança e acessibilidade, Skandhakumar *et al.* (2016) se basearam em teoria de grafos para implementar funções que permitam estabelecer caminhos críticos e rotas de segurança. Apesar de não utilizarem muitas das tecnologias necessárias para ser classificado como um caso de integração de web semântica em processos BIM, seu estudo evidencia vantagens da representação a partir de estruturas conectadas para realizar avaliações além das possíveis pelos métodos tradicionais de representação das informações de projeto.

Mais alinhado com os conceitos que envolvem web semântica e com o objetivo de utilizar a representação a partir de RDF para apoiar a extração de quantitativos mais precisos, Liu *et al.* (2022) propuseram uma estrutura de trabalho em que inconsistências do modelo, tendo como referência manuais de quantificação, fossem automaticamente identificadas a partir de um modelo de *embeddings*. Apesar de limitado a elementos básicos de projeto, seu estudo apresenta uma estratégia inovadora, permitindo que modelos de inteligência artificial sejam treinados com grafos RDF e apontem erros, tanto na modelagem quanto na representação das informações. Tendo essa checagem como referência, a extração dos quantitativos, e posterior orçamentação do projeto, pode seguir com um grau maior de confiabilidade, uma vez que a estrutura apresentada permite identificar previamente erros que impossibilitariam a devida quantificação dos elementos do projeto.

No que diz respeito à interoperabilidade, tanto entre equipes ou disciplinas, quanto entre diferentes sistemas, a utilização de tecnologias de web semântica permite que a criação de relacionamentos entre elementos de diferentes fontes seja facilitada. A estrutura de grafos, em conjunto com a definição de uma ontologia específica para a vinculação de diferentes disciplinas, permitiu o desenvolvimento da aplicação Cloud-based Building Information Modeling (CBIM). CBIM provê alertas em tempo real sobre alterações no modelo realizadas por equipes trabalhando em diferentes sistemas. A partir de um conversor integrado ao software de modelagem BIM Revit, que converte o modelo para RDF, e de conectores que realizam a transmissão das informações para um servidor, Wang *et al.* (2023) demonstraram que tecnologias de web semântica possibilitam a captura e a representação de intenções de projeto de forma que alterações possam ser facilmente compartilhadas. Além disso, CBIM também permite que o modelo possa ser convertido entre diferentes formatos, garantindo interoperabilidade entre sistemas (Wang *et al.*, 2024; Wang; Ouyang; Sacks, 2023).

Além de validações e checagem por regras, a inferência de novas informações também pode ser realizada a partir da representação de modelos BIM com base em web semântica. O uso de sistemas cientes da ontologia, ou do esquema utilizado, permite que informações não modeladas sejam identificadas e inseridas no modelo. Isso é possível porque os conceitos representados por ontologias carregam significado semântico, permitindo que informações sejam interpretadas, mesmo que não explicitamente definidas. Também é possível utilizar modelos de inteligência artificial para inferir informações adicionais, como demonstrado por Wang; Sacks; Yeung (2022). Em seu trabalho, que utiliza redes neurais de grafos, modelos de referência foram utilizados para treinar um modelo de

inferência. Esse modelo treinado se demonstrou capaz de, assim que alimentado com projetos com informações faltantes sobre ambientes, classificar corretamente os espaços da edificação. Isto é, a utilização de RDF permitiu que o projeto fosse devidamente complementado com informações necessárias, porém omitidas.

## Conclusão

A revisão sobre a utilização de tecnologias da web semântica na representação de modelos BIM revelou um potencial significativo para melhorar o gerenciamento de informações na indústria da AEC. A adoção de estruturas de dados baseadas em RDF e ontologias como ifcOWzL mostrou-se eficiente na eliminação de ambiguidades e na promoção de uma interpretação correta dos dados do projeto. Além disso, a combinação dessas tecnologias com ferramentas de inteligência artificial e aprendizado de máquina facilita a automação de validações e a extração de informações, melhorando a precisão das análises e a confiabilidade dos dados para tomadas de decisão.

A adoção de SHACL para a validação de grafos RDF, junto com a possibilidade de integrar sistemas de inferência, destaca o quanto as tecnologias de web semântica podem revolucionar os processos de verificação de normas e requisitos de qualidade, além de fornecer uma plataforma para enriquecer semanticamente os dados do projeto. Ferramentas como o CBIM demonstram que é possível desenvolver sistemas que não só integram informações de diversas fontes e disciplinas, mas que também garantem a interoperabilidade entre diferentes formatos de dados e sistemas de modelagem BIM.

Essa abordagem não apenas atende à necessidade de uma representação mais precisa e completa dos projetos, mas também fomenta a colaboração entre equipes multidisciplinares ao permitir a visualização e a atualização instantânea de intenções de design. Vislumbra-se, portanto, um futuro em que a aplicação dessas tecnologias seja expandida, promovendo uma integração ainda maior e um avanço contínuo na qualidade dos projetos da indústria AEC.

Por fim, a implementação prática dessas tecnologias emergentes destaca-se como um campo promissor de pesquisa e desenvolvimento, com potencial para solucionar muitas das limitações atuais enfrentadas na gestão e interpretação de informações complexas no setor de construção, resultando em projetos mais eficientes, sustentáveis e integrados.

Estudos futuros podem se apoiar no que foi desenvolvido e buscar formas de representar modelos BIM de forma agnóstica. Uma das lacunas identificadas nos trabalhos analisados é a alta dependência de esquemas IFC. No entanto, modelos BIM podem ser apresentados em diversos formatos, assim como dados externos relevantes para a devida avaliação do modelo. Como exemplo, resultados de simulações energéticas ou informações de preço para orçamentação não são reportados em formato IFC. Dessa forma, elaborar estratégias para que essas informações possam ser integradas em fluxos baseados em web semântica pode ser explorado a fim de obter uma representação do modelo ainda mais integrada.

Outro ponto que pode ser destacado é o distanciamento que existe entre o que é apresentado pelos estudos analisados e a realidade prática enfrentada por projetistas do ambiente construído. Muitas das abordagens adotadas e discutidas aqui envolvem a utilização de sistemas complexos, pouco amigáveis para profissionais com pouca familiaridade com sistemas computacionais ou linguagens de programação. Dessa forma, um ponto que pode ser explorado por trabalhos futuros é identificar formas que permitam uma integração mais fluida entre as abordagens propostas pela literatura e a realidade de escritórios de engenharia e arquitetura que buscam adotar tecnologias de web semântica em seus fluxos de trabalho.

## Referências

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. *bibliometrix*: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.

BEETZ, J.; LEEUWEN, J. van; VRIES, B. de. IfcOWL: A case of transforming EXPRESS schemas into ontologies. **AI EDAM**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 89–101, 2009.

EASTMAN, C. *et al.* Automatic rule-based checking of building designs. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 18, n. 8, p. 1011–1033, 2009.

HAGEDORN, P.; PAUWELS, P.; KÖNIG, M. Semantic rule checking of cross-domain building data in information containers for linked document delivery using the shapes constraint language. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 156, p. 105106, 2023.

LIU, H. *et al.* A novel Data-Driven framework based on BIM and knowledge graph for automatic model auditing and Quantity Take-off. **Advanced Engineering Informatics**, [s. l.], v. 54, p. 101757, 2022.

PAUWELS, P. *et al.* A semantic rule checking environment for building performance checking. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 506–518, 2011.

PAUWELS, P.; TERKAJ, W. EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 63, p. 100–133, 2016.

PAUWELS, P.; VAN DEN BERSSELAAR, E.; VERHELST, L. Validation of technical requirements for a BIM model using semantic web technologies. **Advanced Engineering Informatics**, [s. l.], v. 60, p. 102426, 2024.

SKANDHAKUMAR, N. *et al.* Graph theory based representation of building information models for access control applications. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 68, p. 44–51, 2016.

TCHOUANGUEM DJUEDJA, J. F. *et al.* An integrated Linked Building Data system: AEC industry case. **Advances in Engineering Software**, [s. l.], v. 152, p. 102930, 2021.

WANG, Z. *et al.* A Framework for Generic Semantic Enrichment of BIM Models. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 04023038, 2024.

WANG, Z. *et al.* **CBIM: A Graph-based Approach to Enhance Interoperability Using Semantic Enrichment**. [S. l.]: arXiv, 2023. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2304.11672>. Acesso em: 14 jun. 2024.

WANG, Z. **Graph representation of building information models**. 2023. 144 f. Phd - Israel Institute of Technology, Israel, 2023.

WANG, Z.; OUYANG, B.; SACKS, R. Graph-based inter-domain consistency maintenance for BIM models. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 154, p. 104979, 2023.

WANG, Z.; SACKS, R.; YEUNG, T. Exploring graph neural networks for semantic enrichment: Room type classification. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 134, p. 104039, 2022.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **Semantic Web Standards**. [S. l.], 2019. Disponível em: [https://www.w3.org/2001/sw/wiki/Main\\_Page](https://www.w3.org/2001/sw/wiki/Main_Page). Acesso em: 14 jul. 2024.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.