



XVII Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação (XVII ENANCIB)

GT II – Organização e Representação do Conhecimento

**ONTOLOGIA NO SUPORTE A MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA
CONSTRUÇÃO (BIM): UM ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE A INTER-
RELAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS**

***ONTOLOGY IN THE SUPPORT OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM):
AN EXPLORATORY STUDY ABOUT THE INTERPLAU BETWEEN THE INVOLVED
TECHNOLOGIES***

Mario Lúcio P. Junior
Doutorando em Ciência da Informação
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Organização do Conhecimento

Renata M. A. Baracho
Doutora em Ciência da Informação
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Organização do Conhecimento

Mauricio B. Almeida
Doutor em Ciência da Informação
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Organização do Conhecimento

Modalidade da apresentação: Comunicação Oral

Resumo: O presente trabalho objetiva analisar a produção científica que aborda a associação entre Ontologias e a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) na construção civil. Apresentam-se alguns preceitos básicos das duas tecnologias, de forma a fundamentar a pesquisa realizada. Em seguida, busca-se definir o relacionamento entre as essas duas áreas aparentemente desconectadas. O resultado envolve um estudo de um caráter exploratório que proporciona maior familiaridade com os dois temas e sua inter-relação. Uma revisão de literatura não exaustiva foi realizada através da pesquisa de publicações nas bases do portal CAPES, em junho de 2016 a partir dos descritores “ontology” e “BIM”.

Palavras-chave: Ontologia. Modelagem da Informação da Construção. BIM. Recuperação da Informação. Arquitetura da Informação.

Abstract: This study aims to analyze the scientific production that addresses the association between Ontology and BIM technology (Building Information Modeling) in the scope of construction activities. First, we present the basic tenets of both technologies in order to ground the research performed. Then, we seek to define the relationship between these two apparently disconnected fields. Our study has an exploratory character that provides familiarity with the two themes and respective interplay. A non-exhaustive literature review was performed through research publications in the CAPES portal, in June 2016, with the descriptors "ontology" and "BIM".

Keywords: Ontology. Building Information Modeling. BIM. Information Retrieval. Information Architecture

1 INTRODUÇÃO

A sociedade atual está marcada profundamente pelas tecnologias de informação e novas formas de representação do mundo real e imaginário. Assim, a presença destas tecnologias na construção civil e no trabalho de Engenheiros e Arquitetos possibilita, e ao mesmo tempo exige, profundas mudanças no pensar e produzir o objeto arquitetônico, diante da possibilidade de auxílio das práticas de organização e uso da informação.

Por outro lado, a questão da organização da informação tem permeado diversos domínios do conhecimento, uma vez que o volume de dados produzidos atualmente em muito ultrapassa a capacidade biológica de análise de um ser humano. Dessa forma, são necessários processos de representação e organização que possibilitem a recuperação de informação pertinente para o profissional especializado.

O objeto da presente pesquisa está no cruzamento de dois campos: o uso da tecnologia BIM (*Building Information Modeling* ou Modelagem de Informação da Construção) na indústria de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), bem como o uso de técnica de organização da informação, em particular, o uso de ontologias como alternativa para representação da realidade e para a criação de modelos bem fundamentados.

Segundo Almeida (2013) vários campos de pesquisa em várias áreas de conhecimento têm estudado o assunto Ontologia, incluindo publicações em filosofia, ciência da computação e ciência da informação, com aplicações sobre medicina, biologia, engenharia. Apesar do termo ontologia ser bastante controverso, envolvendo princípios das áreas citadas, ontologia aqui diz respeito a uma representação de parte de um determinado domínio, legível por máquina, para fins de representação e recuperação e com possibilidades de inferência automática.

O presente estudo tem como objetivo analisar a produção científica que aborda a associação entre Ontologias e a tecnologia BIM na construção civil, ou seja, verificar e definir o relacionamento entre as duas áreas, ou melhor, a aplicação da primeira área à segunda. Dessa forma, a pesquisa possui caráter exploratório visando maior familiaridade com os temas e suas relações. Apresenta-se uma revisão da literatura, em artigos pesquisados em bases de dados portal CAPES, em junho de 2016 e a partir dos descritores “*ontology*” e “BIM”

A investigação enfatiza a relação entre ontologias e a tecnologia BIM. Para tal, apoia-se em estudos sobre os dois assuntos, objetivando identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as evidências da relação entre os temas.

A tecnologia BIM emprega objetos paramétricos e suas relações. Entretanto não se identifica ali um compromisso ontológico verdadeiro, que seria muito bem-vindo do ponto de

vista da promoção da interoperabilidade. Verifica-se a necessidade do entendimento da aproximação entre ontologia e BIM nos estudos e pesquisas recentes. O uso de semântica em BIM está relacionado ao uso de ontologia para o gerenciamento de informações em modelos arquitetônicos na construção civil.

O restante do presente artigo está organizado conforme segue: a seção 2 apresenta uma breve descrição das tecnologias BIM e ontologia; a seção 3 descreve a metodologia adotada na pesquisa; a seção 4 está destinada à análise e discussão dos resultados e a seção 5 traz as considerações finais.

2 BACKGROUND

Para melhor entendimento dos dois temas aqui tratados, essa seção apresenta uma breve descrição de seus principais elementos definidores.

2.1 BIM – Building Information Modeling

A tecnologia BIM é um dos desenvolvimentos mais promissores em arquitetura, engenharia civil e na indústria da construção (EASTMAN et al., 2008). Nela, um modelo virtual preciso do edifício é construído digitalmente e, quando completo, diferentemente de um simples modelo tridimensional ou desenho bidimensional, contém não só a geometria, mas também diversos dados ou informações relevantes necessárias à construção, fabricação e demais atividades para realização da construção. Assim, é uma nova filosofia de trabalho que integra arquitetos, engenheiros e construtores, que passam a trabalhar de forma colaborativa, alterando e dinamizando o ciclo da informação. Portanto, a tecnologia BIM apresenta-se como uma evolução no processo de projeto, pois permite novas possibilidades de visualização e processamento, representação, uso e recuperação da informação (PEREIRA JUNIOR; BARACHO, 2015).

Na tecnologia BIM a modelagem não só é tridimensional, mas também é paramétrica e baseada em objetos, o que possibilita a geração de entidades editáveis em suas propriedades e que podem ser alterados automaticamente. De acordo com Lee et al. (2006), os sistemas BIM oferecem recursos que favorecem a representação e a visualização da edificação e que permitem a modificação dos elementos de forma direta e intuitiva. Eles garantem a centralização da informação, com a utilização de modelo único através de arquivos integrados e ligados online, e possibilitam que as atualizações sejam facilmente registradas pelos diversos profissionais. Sendo assim, as modificações em um projeto específico, ou em uma parte do projeto, propagam automaticamente atualizações em outros projetos ou outras partes. Usado em sua plenitude, um modelo BIM deve ser integrado e consistente e, idealmente, construído de forma colaborativa

entre todos os profissionais parceiros: arquitetura, estrutura e instalações.

2.2 ONTOLOGIAS

Na Filosofia, ontologia é um ramo da Metafísica que diz respeito às quais categorias de entidades existem e estão relacionadas. Existe consenso de que o estudo da Ontologia diz respeito aos tipos de coisas que existem. Nesse contexto, “tipo” quer dizer “categoria”, um termo que foi usado ainda por Aristóteles para discutir que declarações sobre uma entidade. Uma teoria das categorias é o mais importante tópico do estudo da Ontologia. Tais teorias especificam sistemas de categorias estruturados em níveis hierárquicos, em geral, na forma de uma árvore invertida na qual a categoria de mais alto nível é nomeada “entidade”.

Em Ciência da Computação, ontologias são aplicadas à modelagem, tanto em sistemas baseados em bancos de dados quanto em sistemas de representação do conhecimento. Em Representação do Conhecimento, Inteligência Artificial, o termo ontologia tem sido usado desde o século passado para se referir a uma estrutura de conceitos representados por um vocabulário lógico. Nos anos de 1990, o termo passou a ser usado na iniciativa da “Web Semântica”.

Observam-se dois significados principais para o termo ontologia em Ciência da Computação. O primeiro diz respeito ao uso de princípios ontológicos para entender e modelar a realidade (WAND; STOREY; WEBER, 1999). O uso do termo nesse caso está alinhado com seu papel original na Filosofia, ou seja, fornecer uma descrição do que existe e caracterizar entidades nas atividades de modelagem. O segundo significado diz respeito a representação de um domínio em uma linguagem de representação computacional (STAAB; STUDER, 2004). Uma ontologia, nesse caso, consiste de um conjunto de declarações expressas em uma linguagem de representação, o qual pode ser processado por mecanismos de inferência automatizados.

Em Ciência da Informação, abordagens ontológicas têm sido adotadas, mesmo que sob diferentes denominações. Projetos de engenharia de software envolvendo ontologias exibem paralelos com teorias da Ciência da Informação, tal como classificação facetada, vocabulários controlados e lexicografia (VICKERY, 1997). Existem diferenças e similaridades entre ontologias em Ciência da Computação e outros dois termos comuns em Ciência da Informação: taxonomia e tesouros. A possibilidade de restringir a linguagem natural parece ser o ponto de contato entre esses três tipos de estruturas (GILCHRIST, 2003). Além disso, mesmo que o termo ontologia as vezes apareça como um sinônimo para vocabulários controlados, as duas estruturas têm objetivos diferentes.

Os sistemas utilizados em ciência da computação e ciência da informação têm objetivos diferentes. Ciência da computação usa ontologia para categorizar o mundo, mas enfatiza o processo de raciocínio. A ênfase no raciocínio está inserida no domínio da lógica, com o objetivo de descobrir como um padrão de silogismo combina duas premissas para chegar a uma conclusão. Além disso, estes sistemas são extremamente reducionistas, porque eles têm de lidar com as limitações de representação e desempenho de sistemas computacionais. Em contraste, a principal preocupação da ciência da informação é lidar com documentos que descrevem as entidades do mundo em diferentes domínios e de diferentes pontos de vista, e não com o raciocínio lógico (ALMEIDA, 2013).

Pode-se reforçar a distinção anterior com a diferença entre Ontologia na filosofia e ontologias em ciência da computação e ciência da informação. A primeira corresponde a uma disciplina filosófica, ou seja, o ramo da filosofia que trata da natureza e da organização da realidade; a segunda e a terceira se referem a um objeto particular determinado, um artefato, que pode ser um sistema informal conceitual, um relato de semântica formal, uma especificação de uma conceptualização, uma representação de um sistema conceitual através de uma teoria lógica, um vocabulário usado por uma teoria lógica, ou uma especificação meta-nível de uma teoria lógica (ALMEIDA, 2013).

Considerando as distinções apresentados até agora, o Quadro 1 resume as principais interpretações de ontologias em diferentes contextos. Como o termo teoria é usado no Quadro 1, uma teoria nem sempre se refere a toda a realidade, mas pode ser usada para representar o conhecimento em um domínio específico.

QUADRO 1 - Quadro sinóptico que resume os pontos de vista sobre ontologias

Distinção	Campo	O que é isso?	Propósito	Exemplo
Ontologia como uma disciplina	Filosofia	Ontologia como um sistema de categorias	Compreender a realidade, as coisas que existem, e as suas características	Sistemas de Aristóteles, Kant, Husserl
Ontologia como um artefato	Ciência da Computação	Ontologia como uma teoria (baseado em lógica)	Entender um domínio e reduzi-lo a modelos	BFO, DOLCE (genérico)
		Ontologia como um artefato de software	Criar vocabulários de representação em sistemas e gerar inferências	OWL (linguagem KR)
	Ciência da Informação	Ontologia como uma teoria (informal)	Entender um domínio e classificar termos	Sistema de Classificação de Ranganathan
		Ontologia como um sistema conceitual informal	Criar vocabulários controlados para recuperação de informação a partir de documentos	Um catálogo, um glossário, um tesouro

Nota - BFO indica *Basic Foundational Ontology*; DOLCE, *Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering*; KR, knowledge representation; OWL, *Web Ontology Language*.

Fonte: ALMEIDA, 2013. Adaptado pelos autores.

3 METODOLOGIA

Como protocolo da revisão, optou-se pelo uso do Portal de periódicos da CAPES, que possui acesso a diversas bases de dados, como SCIELO, SCOPUS, WEB OF SCIENCE, PROQUEST, SCIENCEDIRECT E IBICT, em publicações que tenham como assunto o uso de ontologias, ao mesmo tempo em que estas são empregadas com a tecnologia BIM. Como recorte, buscou-se a relação específica entre ontologia e modelos BIM na construção civil.

Para realização dos estudos primários, utilizou-se a busca automática, através do acesso ao Portal de periódicos da CAPES para recuperar artigos de acordo com as palavras chave: (ontologia (s) ou *ontology*) e (BIM ou *Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção ou Modelagem da Informação do Edifício). Também foram usados na busca:

- Data de publicação: Qualquer ano
- Tipo de material: Todos os itens
- Idioma: Qualquer idioma
- Data Inicial: indefinida
- Data Final: indefinida

A seguir, foram selecionadas quais publicações seriam analisadas, pela avaliação do título e do resumo, para verificar se de fato abordavam tanto BIM quanto ontologias. Quando este critério não estava claro, pela simples observação do título e resumo, o texto completo foi acessado para consolidar a seleção ou o descarte.

Os artigos identificados pela estratégia de busca foram avaliados, obedecendo rigorosamente aos critérios de inclusão: texto na íntegra, e uso formalmente declarado de ontologias e tecnologia BIM, simultaneamente. Como objetiva-se a relação entre estes dois assuntos, o primeiro critério de inclusão consistiu de o texto versar sobre os dois temas.

A seguir, apresentam-se os resultados da busca:

QUADRO 2: Resultados das buscas

Qualquer Título Autor Assunto	Contém É exato Começa	Palavra chave	And Or Not	Qualquer Título Autor Assunto	Contém É exato Começa	Palavra chave	Resultados	Selecionados	Motivo da exclusão
qualquer	contém	Ontologia	and	qualquer	contém	BIM	1	0	Psicologia e linguística
qualquer	contém	Ontologias	and	qualquer	contém	BIM	0	0	
qualquer	contém	Ontologia	and	qualquer	contém	Modelagem da Informação do Edifício	0	0	
qualquer	contém	Ontologias	and	qualquer	contém	Modelagem da Informação do Edifício	0	0	
qualquer	contém	Ontologia	and	qualquer	contém	Modelagem da Informação da Construção	11	0	construção de outra coisa
qualquer	contém	Ontologia	and	qualquer	é exato	Modelagem da Informação da Construção	0	0	
qualquer	contém	Ontologias	and	qualquer	contém	Modelagem da Informação da Construção	12	0	construção de outra coisa
qualquer	contém	Ontologias	and	qualquer	é exato	Modelagem da Informação da Construção	0	0	
qualquer	contém	Ontologia	and	qualquer	contém	Building Information Modeling	37	0	construção de outra coisa
qualquer	contém	Ontologia	and	qualquer	é exato	Building Information Modeling	0	0	
qualquer	contém	Ontology	and	qualquer	é exato	Building Information Modeling	31	27	incluídos na pesquisa a seguir
qualquer	contém	Ontology	and	qualquer	contém	BIM	79	27	resultado final da busca

Fonte: os autores

A amostra final de publicações a serem avaliadas constituiu-se de 27 trabalhos. Dos 79 listados 8 estavam repetidos e 27 atenderam os critérios de inclusão.

4 RESULTADOS

A tecnologia BIM difere-se da tecnologia CAD (*computer aided design*), anterior, por trabalhar o edifício como um sistema de informação. Nesse contexto, a informação não só passa a fazer parte do modelo como é a diretriz geradora da forma. Apesar da tecnologia BIM já

existir há anos, as primeiras investigações com orientação semântica em BIM surgiram recentemente.

Em termos dos objetivos propostos, dos 27 textos selecionados, 24 deles (quase 90%) foram publicados no último quadriênio (2013 a 2016), 17 (63%) nos últimos 18 meses, e o mais antigo é de 2009, o que demonstra a atualidade do tema. Isso indica que, os estudos publicados associando o uso de ontologia e a tecnologia BIM apresentam publicação recente e de volume crescente. A seguir, estão relacionados o número de títulos por ano de publicação:

QUADRO 3 - Títulos por ano de publicação

Ano de publicação	Número de títulos
2016	06
2015	11
2014	03
2013	04
2012	01
2011	00
2010	01
2009	01

Fonte: os autores

Os trabalhos foram organizados em quatro grupos de acordo com o tipo de relacionamento entre os temas. O maior número de trabalhos – onze no total (41%) – abordam a representação do conhecimento e a colaboração entre profissionais. A preocupação com a interoperabilidade entre sistemas está presente em sete trabalhos. Outros sete artigos foram agrupados pela abordagem relacionada à especificação de materiais, ao custo e ao acesso a componentes de BIM. Os dois últimos trabalhos não se enquadram nos grupos anteriores, sendo destacados ao final.

De acordo com essa classificação foram definidas quatro categorias de análises apresentadas a seguir.

4.1 CONHECIMENTO E COLABORAÇÃO

O maior número de trabalhos, onze, tiveram preocupação com representação e compartilhamento do conhecimento em AEC e modelos BIM.

Aksamija e Iordanova (2010) discutiram a interação entre as representações multimodais de conhecimento em projeto arquitetônico. Desenvolveram um ambiente computacional que

combina vários modos de representação, incluindo e integração de diferentes formas de conhecimento presentes no projeto arquitetônico. Discutiram também o desenvolvimento de uma biblioteca de modelos digitais interativos e um modelo ontológico de fatores de projeto de arquitetura, apresentando uma interação entre a representação ontológica do conhecimento do projeto arquitetônico e sua incorporação em modelos interativos, salientando, assim, o processo de concepção e espaço de projeto.

Lee e Jeong (2012) preocuparam-se com a representação do conhecimento centrados no usuário com base na ontologia para colaboração do projeto, considerando as dificuldades para promoção do trabalho colaborativo na área de AEC (Arquitetura / Engenharia / Construção), em função das diferenças entre as formações educacionais e disciplinares dos participantes e da falta de compreensão acerca da natureza multidisciplinar do projeto, além da falta de ferramentas específica de apoio. Estabeleceram um modelo distribuído e flexível para a colaboração mediada por máquina. Nesse modelo, em que cada domínio os seus próprios dados são retidos sob a forma mais apropriada para as suas necessidades. Filtros inteligentes baseados em ontologias traduzem em dados neutros de projeto para aqueles de domínio específico. Os dados filtrados aparecem enriquecidos semanticamente para o usuário, mesmo quando gerado por outro profissional. Um protótipo foi desenvolvido e testado para verificar a viabilidade do modelo de comunicação baseado em filtro proposto e os resultados demonstraram que o modelo pode permitir que os profissionais de diferentes disciplinas participem de um projeto de AEC compreendendo melhor o processo dinâmico de projeto e chegando a um nível de compreensão compartilhada mais elevado.

Já Nepal et al. (2013) utilizaram modelagem da construção baseada em ontologia, extração automática de características baseada em um esquema padrão AEC XML e processamento de consulta, com o objetivo de extrair informações para os profissionais de construção a partir de um modelo BIM. Buscando ampliar a utilização de modelos BIM em outros processos para construção, e reconhecendo que a extração de informações relevantes e úteis a partir de um modelo BIM envolve processo ao mesmo tempo desafiador e demorado, descreveram o desenvolvimento de uma ontologia para as características da construção, que formaliza o conhecimento de construção relacionado com o projeto de componentes. Descreveram, também, um modelo baseado em características específicas do projeto (FBM), com base de uma entrada XML IFC, que representa explicitamente características que são relevantes para um determinado profissional de construção ou de domínio e personalizado para um projeto particular. Finalmente, desenvolveram consultas que fornecem aos usuários de construção uma forma personalizada de recuperar informações relevantes, aproveitando o FBM.

O aumento crescente do tamanho dos arquivos BIM, o fato que isto pode trazer dificuldades para manipulação do modelo, aliado a cenários de uso em que apenas determinadas informações específicas são necessárias, levaram Zhang e Issa (2013) a buscar uma ontologia para a extração de um modelo da construção parcial a partir do modelo original completo, no formato *Industry Foundation Classes* (IFC). Desenvolveram a parte terminológica (Tbox) da ontologia de acordo com as especificações existentes de esquema IFC, e a parte assertiva (Abox) foi gerada em tempo de execução para cada modelo IFC específico, combinando a TBox e as instâncias da IFC no modelo. Para demonstrar e validar o algoritmo, os autores usaram um protótipo baseado em Java.

Park et al. (2013) se preocuparam com a gestão de defeitos e propuseram uma ontologia de defeitos na construção civil para busca e recuperação de informações de defeitos em projeto ou trabalho específico. Investigaram a necessidade de práticas de gestão de defeitos na indústria da construção civil proativa e abrangente, ao invés de reativa, como é a tradição. Apresentam uma estrutura conceitual para sistema de gerenciamento de defeitos de construção que integra a ontologia, a realidade aumentada (AR), num sistema de inspeção de defeitos como apoio à gestão de defeitos no campo, com modelos BIM.

Succar (2014), com o objetivo de proporcionar uma estrutura de conhecimento extensível, construindo ferramentas de melhoria de desempenho da tecnologia BIM, construiu uma ontologia de domínio como suporte a um ambiente de construções, como sistemas de avaliação, módulos de aprendizagem e ferramentas de melhoria de desempenho.

Zhang, Boukamp e Teizer (2015) desenvolveram uma modelagem semântica, baseada em ontologias, do conhecimento sobre segurança de construção para planejamento de segurança automatizada em análise de riscos do trabalho. Utilizando a tecnologia BIM as análises de relatórios de perigo são geradas automaticamente, disponibilizando a visualização e simulação (4D) de modelos com recursos de segurança. O objetivo foi investigar uma nova abordagem para organizar, armazenar e reutilizar conhecimentos de segurança de construção propondo uma ontologia de segurança de construção, para formalizar o conhecimento de gestão de segurança.

Pilehchian, Staub-french e Nepal (2015) também, reconhecendo que as ferramentas BIM atuais fornecem suporte limitado na gestão de mudanças, descreveram uma abordagem para representar, coordenar e acompanhar as mudanças de projeto dentro de um ambiente multidisciplinar colaborativo com a tecnologia BIM. Criaram uma ontologia para caracterizar as mudanças de projeto, e assim representar os atributos do componente alterado, dependências entre componentes e alterar impactos. Diferentes tipos de dependências entre as diferentes alterações de projeto foram explorados, bem como uma matriz da abordagem e da dependência

baseada em gráfico. Isso poderia ajudar, no contexto de um processo de entrega do projeto com base em BIM, a automatizar a propagação e o impacto das mudanças. Apresentaram um estudo de caso detalhado de um projeto BIM grande e complexo, no qual foram investigadas inúmeras alterações de projeto, analisados os processos de gestão de mudança, e avaliadas as ferramentas BIM disponíveis.

Também preocupados com a prevenção de recorrência de defeitos na construção civil, Lee, et al. (2016) observaram a necessidade de um mecanismo de realimentação de conhecimento sobre defeitos nas condições de trabalho. O problema é que a maior parte dos defeitos são armazenadas em forma de dados não estruturados, resultando no problema fundamental da reutilização. Assim, fizeram uma proposta de uma estrutura usando BIM e tecnologias vinculados para a partilha de dados sobre defeitos entre fontes de dados heterogêneos. Desenvolveram uma ontologia de defeitos, permitindo a extração das informações contexto de trabalho de modelos BIM. Esses dados BIM extraídos foram convertidos para o formato RDF (Resource Description Framework) e foram implementadas consultas SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language) - uma linguagem de consulta semântica e protocolo de acesso a dados em RDF. Objetivaram permitir reduções de ocorrência melhorias nas práticas de gestão de defeitos na construção.

Costa et al. (2016), centrados em projetos de engenharia de colaboração, utilizaram uma ontologia de domínio na indústria da construção civil para facilitar o compartilhamento de conhecimento e sua reutilização. Investigaram um quadro conceitual para a representação de fontes de dados, onde cada fonte de dados foi semanticamente representada, dentro do seu domínio de uso, por um vetor semântico. Uma abordagem de modelo de espaço vetorial estendido com suporte ontológico foi adotada, além do emprego de conceitos de ontologias e suas relações.

Ding et al. (2016) criaram uma metodologia baseada em ontologias para a gestão de conhecimento de riscos de construção vinculado a um ambiente BIM. Esse conhecimento de risco foi organizado semanticamente e dinamicamente ligado aos objetos de construção específicos de um modelo BIM. Objetivaram facilitar a reutilização do conhecimento durante o processo de análise de risco de construção em uma ferramenta de gerenciamento de conhecimento de riscos. Foi desenvolvido um protótipo da ferramenta e implementado em um estudo de caso, no qual o conhecimento de risco de construção armazenado na base de conhecimento foi recuperado e exibido ao selecionar os componentes de construção no modelo BIM.

4.2 INTEROPERABILIDADE

A questão da interoperabilidade entre diferentes sistemas BIM ou entre BIM e outras plataformas, como GIS, foi o tema abordado por 7 publicações.

Gomes-Romero et al. (2015) enfrentaram o desafio de superar a capacidade limitada de integração de informações entre domínios diferentes em modelos BIM, mesmo com o uso de padrões abertos, como os *Industry Foundation Classes* (IFC). Fizeram a proposta e uma extensão difusa de ontologias BIM: ifcRDF e ifcOWL. O caminho escolhido foi o uso de ontologias e tecnologias da Web Semântica, para criar mais BIMs formais e interoperáveis. Para suporte à representação do conhecimento impreciso e recuperação apresentaram uma extensão baseada em lógica difusa das BIMs semânticas. A proposta foi uma linguagem de ontologia difusa expressiva, e a descrição de como usar uma máquina de raciocínio distorcido num contexto BIM com exemplos selecionados. Novas funcionalidades no desenho e análise de projetos foram permitidas com o BIM semântico difuso.

Também percebendo a importância do tema da interoperabilidade, Karan, Irizarry e Haymaker (2015) desenvolveram uma estrutura para representar os resultados da consulta web semântica como modelos de construção em *Industry Foundation Class* (IFC). Desenvolveram uma ontologia para especificar uma entidade IFC equivalente nos resultados da consulta. Na sequência, foi definida uma estrutura de mapeamento utilizada para traduzir e preencher todos os resultados da consulta em um documento ifcXML. O framework proposto implementa um conjunto de mapeamentos de consulta pré-definidas entre o esquema de origem e um esquema de saída IFC correspondente para o processamento de consultas. Um analisador de validação de esquema XML valida o documento ifcXML resultante que depois é carregado em uma ferramenta BIM.

Já Venugopal, Eastman e Teizer (2015) analisaram o *Industry Foundation Classes* (IFC) a partir de uma perspectiva ontológica, buscando definições mais formais, coerentes e inequívocas para a construção de intercâmbios em modelos de informação da construção (BIM). Revisaram diferentes métodos de abordagens ontológicas. Partiram do reconhecimento que, apesar do IFC fornecer condições para a interoperabilidade por meio de transações com base em objeto, necessita de clareza semântica em entidades de mapeamento e relacionamentos, pois resulta, para mapear a mesma informação entre os diferentes modelos, em múltiplas definições. Revelaram a natureza ambígua das definições atuais da IFC e propuseram reformas para o intercâmbio de dados de forma semanticamente mais robusto. Visando estruturar a interoperabilidade das ferramentas BIM, uma ontologia seria interessante, fornecendo uma taxonomia formal e consistente e estrutura de classificação.

Lee, Eastman e Solihin (2016) também se preocuparam com as especificações para partilha e troca entre modelos de informação da construção durante as fases de projeto, construção e operação. Reconheceram que as *Industry Foundation Classes* (IFC) e os *Model View Definitions* (MVDs) especificam as informações para o intercâmbio de dados do modelo de construção, envolvendo identificação de semântica do modelo partilhadas por dois ou mais pedidos, mas, contudo, resultam em uma falta de consistência pois nenhum padrão robusto para a definição semântica e requisitos para a troca de dados de construção foi acordado. Assim, fizeram uma proposta de abordagem para formalização de conhecimento de domínio e definiram módulos de dados precisos para vistas do modelo. Empregaram princípios ontológicos para gerar um *Manual Information Delivery* IDM para o domínio “concreto pré-moldado” e para que a sua MVD com modelos de informação formais. Um IDM baseado em ontologia foi analisado e traduzido do OWL / XML para mvdXML, que gera automaticamente a documentação MVD na ferramenta IfcDoc, integrando assim os processos IDM e desenvolvimento MVD.

Dentro dos sete trabalhos deste grupo, três preocuparam-se com a interoperabilidade entre sistemas BIM e GIS, assunto tão corrente e importante para Arquitetos e Engenheiros. Mignard e Nicolle (2014) buscaram diminuir a separação entre os Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e de os Modelos de Informação da Construção (BIM). Definiram uma nova abordagem para a gestão técnica de instalações urbanas, incluindo a modelagem e exploração da informação dos edifícios, o seu ambiente, elementos e redes urbanas. Produziram um Modelo de Informação Urbana (UIM), por analogia com o Modelo de Informação da Construção, que permite modelar, para uma ontologia, todas as informações da cidade, incluindo elementos urbanos, redes, edifícios. A particularidade da plataforma é que os dados podem ser acedidos, quer por uma vista semântica ou através de uma interface 3D.

Para transmitir significado entre BIM e GIS, Karan e Irizarry (2015) utilizaram a tecnologia de web semântica permitindo interoperabilidade a nível semântico para promover o uso de BIM para pré-construção, trazendo benefícios e integração para gerir esta fase. Termos e suas relações em ambiente BIM foram declarados utilizando os padrões de web semântica, usando um conjunto de ontologias padronizadas para operações com os dados espaciais e temporais heterogêneos.

Por fim, Kim et al. (2016) desenvolveram uma ontologia para o modelo BIM com objetivo de fornecer informações sobre a *walkability* existente. Essa ontologia, que fornece uma representação formal do *walkability* de rotas seguras para os programas escolares, foi aplicada em uma escola primária nos Estados Unidos e visualizou a *walkability* existente, integrando

BIM e Sistema de Informação Geográfica (GIS). Com base no resultado de visualização, a equipe foi capaz de descrever explicitamente a *walkability* existente aos participantes do programa.

4.3 ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS, CUSTO E ACESSO A COMPONENTES DE BIM

Kim et al. (2013) apresentaram, com objetivo de inserir em uma ferramenta para a construção de *building energy analysis* (BEA), um sistema semântico para encontrar um nome de material padronizado e suas propriedades associadas. Definiram ontologias que capturam os conceitos associados com os materiais padrão e seus valores de propriedade que são exigidos por ferramentas BEA, utilizando arquivos IFCXML de BIM como uma fonte de dados de entrada, buscando processamento automático de entrada propriedade do material.

Para superar o problema da subjetividade dos estimadores de custo, Lee, Kim e Yu (2014) propuseram um processo ontológico de inferência para automatizar o processo de busca para os itens de trabalho mais adequadas, automatizando as pesquisas usando dados de modelos BIM para encontrar itens para elementos de construção e materiais, para ajudar os profissionais de custos a encontrar itens de trabalho com maior facilidade e consistência e melhorar a precisão dos quantitativos com modelos BIM. Estabeleceram uma ontologia das condições de trabalho, que consiste dos determinantes necessários para selecionar itens de trabalho, uma ontologia de item de trabalho, que consiste dos fatores que definem o método, e as regras de raciocínio semânticas.

Costa e Madrazo (2015) apresentaram um caso de uma aplicação de tecnologias de Web Semântica para conectar modelos BIM com um catálogo de componentes de concreto pré-moldado estrutural, reconhecendo que as tecnologias BIM existentes não fornecem ligações nativas para os componentes do produto, que são necessários para facilitar a participação dos fabricantes nos processos de concepção e construção. Tiveram como objetivo aplicar tecnologias da Web Semântica produzir a construção de descrições dos componentes, usando dados vinculados a partir de diferentes fontes disponíveis na Web, e fornecer serviços que tornam os dados vinculados disponível em um catálogo de produtos acessíveis aos usuários finais que trabalham com modelos BIM. Para validar a aplicação em um caso real um catálogo e os serviços associados na modelagem de quadros concreto pré-moldado com BIM *Revit* foram implementados.

A importância da busca na *World Wide Web* de recursos de BIM úteis, como bibliotecas de produtos de construção, foi o argumento para Gao et al. (2015) desenvolverem um protótipo de motor de busca semântica, chamado *BIMSeek*, para recuperar recursos BIM on-line, baseado

em *Industry Foundation Classes* (IFC), e numa ontologia de domínio construída para codificar o conhecimento específico do BIM no motor de busca, objetivando que os termos em documentos BIM possam estar desambiguados e indexados.

Lee, Kim e Yu (2015) pesquisaram uma inferência ontológica do item de trabalho que permite uma pesquisa automatizada dos itens de trabalho mais adequadas e os seus custos unitários associados. Consideraram que as ferramentas BIM podem ser usadas para automatizar o levantamento da quantidade de material, minimizando o processo de medição da quantidade, mas não fornecem informações sobre itens de trabalho que estão relacionados com materiais, que precisam ser verificados manualmente. Criaram uma ontologia que contém informações semânticas para itens e condições de trabalho, bem como uma regra de raciocínio semântico que ativa a ontologia. Confirmaram que a ontologia proposta e a regra raciocínio semântica pode trabalhar em situações do mundo real em um estudo de caso.

Também Niknam e Karshenas (2015) desenvolveram uma ontologia para estimativa de custos de construção, envolvendo BIM, estimativa de custos e bases de conhecimento de materiais de construção. Desenvolveram uma aplicação para estimativa de custos com base semântica, informação distribuída acessada usando SPARQL e Serviços da Web Semântica. O desafio foi integrar as informações necessárias para a estimativa de custos através da Internet. Assim, discutiram uma nova abordagem para a estimativa de custos de construção que utiliza a tecnologia de Web Semântica, baseada em BIM, estimando conhecimento e dados de custo de material de construção expressa em uma linguagem de ontologias da Web.

Liu, Lu e Al-Hussein (2016) reconheceram que um modelo BIM é um banco de dados de informações construído propositalmente centrado no produto e não tem semântica de domínio, fato que restringe extração de informações do modelo para análises de transformação em construção. Propuseram, portanto, uma abordagem semântica baseada em ontologias para extrair as informações para levantamento de quantitativos para a construção civil em um modelo de projeto BIM. Esta abordagem permite aos utilizadores consultar semanticamente o modelo de projeto BIM usando um vocabulário de domínio. Como tal, as informações para levantamento de quantitativos relevantes para os profissionais de construção podem ser facilmente extraídas e visualizadas em 3D. Foi implementada uma aplicação de um protótipo em *Autodesk Revit* para demonstrar a eficácia da abordagem proposta no domínio da construção de edifício e em *light-frame*.

4.4 OUTROS ASSUNTOS

Os dois próximos trabalhos não se enquadram nos grupos anteriores, sendo destacados a

seguir.

Succar (2009) afirma que os componentes de conhecimento da tecnologia BIM devem ser definidos e os limites de expansão delineados para permitir uma investigação sistemática de campos divergentes. Então o autor apresentou o BIM *Framework*, uma fundação de pesquisa e entrega para as partes interessadas da indústria, explorando algumas das orientações internacionais acessíveis ao público, identificando algumas peças conceituais, como campos, fases, etapas e lentes, fornecendo exemplos de sua aplicação e listando algumas das entregas do Framework. Assim, modelos de conhecimento visuais e uma ontologia para representar conceitos de domínio e as suas relações foram identificados e implementados.

Han, Cline e Golparvar-Fard (2015) formalizaram uma ontologia de modelos de construção de sequenciação lógica tais como relações físicas entre os componentes. O cenário são os métodos que detectam desvios de progresso da construção, com a utilização de varredura a laser ou imagens de nuvens de pontos com 4D BIM, para criar modelos completos *as-built*. Um mecanismo de classificação que integra essa ontologia com BIM foi apresentado para inferir estados de progresso para os componentes parcialmente e totalmente ocluído. A ontologia e o mecanismo de classificação foram validados usando um teste.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou a produção científica que associa ontologia e tecnologia BIM no ambiente de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). Com um caráter exploratório, visando aumentar a familiaridade com esses dois temas e suas inter-relações, foi realizada uma revisão da literatura. Os artigos foram pesquisados nas bases do portal CAPES a partir dos descritores “*ontology*” e “BIM”. Foi possível verificar que o relacionamento entre as áreas é bastante recente, com base na atualidade das publicações. O volume de estudos publicados ainda não é suficiente, quando comparado a outros trabalhos sobre BIM ou sobre ontologias em separado. Dessa forma, deduziu-se aqui um o grau de maturidade ainda relativamente baixo.

Foram identificados, selecionados e avaliados estudos relevantes sobre a relação entre ontologias e a tecnologia BIM. Reconhecendo que apesar de empregar objetos paramétricos e formalizar suas relações, a tecnologia BIM não tem um compromisso ontológico bem definido, buscou-se o uso de ontologias para ajudar no gerenciamento das informações nos modelos BIM, derivando a BIM semântica.

Três principais preocupações orientaram os trabalhos analisados: a) a representação e compartilhamento do conhecimento em AEC e modelos BIM, tendo o trabalho colaborativo como objetivo final; b) os problemas de interoperabilidade entre diferentes sistemas BIM, bem

como relações entre BIM e aplicações GIS; e, c) autores interessados em ampliações dos sistemas BIM melhorando a pesquisa de componentes de modelo, especificações, materiais e componentes de trabalho, além de levantamento de custos e orçamento.

Por fim, os autores apontaram os princípios ontológicos como real possibilidade de orientação para o desenvolvimento futuro e ampliação das potencialidades da tecnologia BIM. Dezesete trabalhos (63% do total) foram publicados nos últimos 18 meses, fato que demonstra a atualidade e o recente e crescente interesse pelo tema. Assim, o uso de princípios ontológicos e a tecnologia BIM, na indústria de AEC, apresenta-se como importante tema para trabalhos futuros. O uso de ontologias pode suprir as características que faltam para o trabalho com a tecnologia BIM, ampliando sua inteligência, tecnologia esta tão promissora para Engenheiros e Arquitetos, que passam a ter na informação e no conhecimento o foco do seu trabalho.

Identificou-se uma lacuna na bibliografia a qual esse artigo busca preencher de não encontrar literatura que relaciona as temáticas tratadas, à saber, ontologia e BIM. Num primeiro momento, o levantamento bibliográfico apresentado aqui aponta para a falta de pesquisa consolidada relacionando os dois temas. Entretanto, acredita-se que há nessa interseção possibilidades frutíferas de pesquisa, uma vez que o BIM lida com espaços e objetos e a teoria da ontologia é aplicável ao universo espaço-temporal.

REFERÊNCIAS

AKSAMIJA, A.; IORDANOVA, I. Computational Environments with Multimodal Representations of Architectural Design Knowledge. **International journal of architectural computing** v. 8, n. 4, p. 439-460, 2010.

ALMEIDA, M.B. Revisiting Ontologies: a necessary clarification. **Journal of the American Society of Information Science and Technology**. v. 64, n. 8, p. 1682–1693, 2013

COSTA, G.; MADRAZO, L. Connecting building component catalogues with BIM models using semantic technologies: an application for precast concrete components. **Automation in Construction**, v. 57, p. 239-248, 2015.

COSTA, R. et al. Facilitating knowledge sharing and reuse in building and construction domain: an ontology-based approach. **Journal of Intelligent Manufacturing**, London, v. 27, n. 1, p. 263-282, 2016.

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.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. 490p.

GAO, G. et al. A query expansion method for retrieving online BIM resources based on Industry Foundation Classes. **Automation in Construction**, v. 56, p. 14, 2015.

GILCHRIST, A. Thesauri, taxonomies and ontologies – an etymological note. **Journal of Documentation**, v.59, n.1, p.7-18, 2003. Disponível em: <<http://dois.mimas.ac.uk/DoIS/data/Articles/julkokltny:2003:v:59:i:1:p:7-18.html>>. Acesso em: 2 mar. 2009.

GÓMEZ-ROMERO, J. et al. A fuzzy extension of the semantic Building Information Model. **Automation in Construction**, v. 57, p. 202-212, 2015.

HAN, K.; CLINE, D.; GOLPARVAR-FARD, M. Formalized knowledge of construction sequencing for visual monitoring of work-in-progress via incomplete point clouds and low-LoD 4D BIMs. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 4, p. 889-901, 2015.

JIANG, S.; ZHANG, H.; ZHANG, J. Research on BIM-based Construction Domain Text Information Management. **Journal of Networks**, Oulu, v. 8, n. 6, p. 1455-1464, 2013.

KARAN, E.; IRIZARRY, J.; HAYMAKER, J. Generating IFC models from heterogeneous data using semantic web. **Construction Innovation**, v. 15, n. 2, p. 219-235, 2015.

KARAN, E. P.; IRIZARRY, J. Extending BIM interoperability to preconstruction operations using geospatial analyses and semantic web services. **Automation in Construction**, v. 53, p. 1-12, 2015.

KIM, Jung In et al. Integration of BIM and GIS for formal representation of walkability for safe routes to school programs. **KSCE J Civ Eng**, Seoul, v. 20, n. 5, p. 1669-1675, 2016.

KIM, K. et al. Semantic material name matching system for building energy analysis. **Automation in Construction**, v. 30, p. 242-255, 2013.

LEE, D.-Y. et al. A linked data system framework for sharing construction defect information using ontologies and BIM environments. **Automation in Construction**, v. 68, p. 102-113, 2016.

LEE, Ghang, et al. Specifying parametric building project behavior (BOB) for a building information modeling system. **Automation in Construction**, v. 15, p.758-776, 2006. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/autcon>>. Acesso em: 20 mai. 2009.

LEE, J.; JEONG, Y. User-centric knowledge representations based on ontology for AEC design collaboration. **Computer-Aided Design**, v. 44, n. 8, p. 735-748, 2012. ISSN 0010-4485.

LEE, S.; KIM, K.; YU, J. Ontological inference of work item based on BIM data. **KSCE J Civ Eng**, Heidelberg, v. 19, n. 3, p. 538-549, 2015.

LEE, S.-K.; KIM, K.-R.; YU, J.-H. BIM and ontology-based approach for building cost estimation. **Automation in Construction**, v. 41, p. 96-105, 2014.

LEE, Y.-C.; EASTMAN, C. M.; SOLIHIN, W. An ontology-based approach for developing data exchange requirements and model views of building information modeling. **Advanced Engineering Informatics**, v. 30, n. 3, p. 354-367, 2016.

- LIU, H.; LU, M.; AL-HUSSEIN, M. Ontology-based semantic approach for construction-oriented quantity take-off from BIM models in the light-frame building industry. **Advanced Engineering Informatics**, v. 30, n. 2, p. 190-207, 2016.
- MIGNARD, C.; NICOLLE, C. Merging BIM and GIS using ontologies application to urban facility management in ACTIVE3D. **Computers in Industry**, v. 65, n. 9, p. 1276-1290, 2014.
- NEPAL, M. P. et al. Ontology-based feature modeling for construction information extraction from a building information model. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 27, p.555-569, 2013.
- NIKNAM, M.; KARSHENAS, S. Integrating distributed sources of information for construction cost estimating using Semantic Web and Semantic Web Service technologies. **Automation in Construction**, v. 57, p. 222-238, 2015.
- PARK, C.-S. et al. A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. **Automation in Construction**, v. 33, p. 61, 2013.
- PEREIRA JUNIOR, M. L.; BARACHO, R.M.A. Relações entre a gestão da informação e do conhecimento e uso de sistema BIM por arquitetos e engenheiros. In: 4º SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO ARQUITETURA E DOCUMENTAÇÃO. 2015, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2015.
- PILEHCHIAN, B.; STAUB-FRENCH,S.; NEPAL, M. P. A conceptual approach to track design changes within a multi-disciplinary building information modeling environment. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 42, n. 2, p. 139-152, 2015.
- STAAB, S.; STUDER, R. **Handbook on Ontologies**. Berlin: Springer, 2004
- SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.
- _____. **Building information modelling: conceptual constructs and performance improvement tools**. 2014. PhD Thesis - School of Architecture and Built Environment, Faculty of Engineering and Built Environment, University of Newcastle, Newcastle, 2014
- VENUGOPAL, M.; EASTMAN, C.; TEIZER, J. An ontology-based analysis of the industry foundation class schema for building information model exchanges. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 4, p. 940-957, 2015.
- VICKERY, B. C. Ontologies. **Journal of Information Science**, London, v. 23, n. 4, p. 227-286, 1997.
- WAND, Y.; STOREY, V. C.; WEBER, R. An ontological analysis of the relationship construct in conceptual modeling. **ACM Transactions on Database Systems**, New York, v. 24, n. 4, p. 494-528, 1999.
- ZHANG, L.; ISSA, R. R. A. Ontology-based partial building information model extraction.(Author abstract). **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 27, n. 6, p. 576, 2013.

ZHANG, S.; BOUKAMP, F.; TEIZER, J. 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.