

Ontologias como suporte à modelagem da informação na arquitetura, engenharia e construção

Renata M. A. Baracho

Professora Associada do Programa de Pós Graduação em Gestão e Organização do Conhecimento da Universidade Federal de Minas Gerais (PPG-GOC/UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/4218954956709188>

E-mail: renatabaracho@ufmg.br

Livia Marangon Duffles Teixeira

Doutoranda em Ciência da Informação pela Universidade Federal de Minas Gerais - Programa de Pós Graduação em Gestão e Organização do Conhecimento (PPG-GOC/UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/5511349023940518>

E-mail: liviamarangon@gmail.com

Mário Lucio Pereira Junior

Doutorando em Ciência da Informação pela Universidade Federal de Minas Gerais - Programa de Pós Graduação em Gestão e Organização do Conhecimento (PPG-GOC/UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/5892357969061565>

E-mail: mariolpereiraj@gmail.com

Submetido em: 10/07/2017. Aprovado em: 05/09/2017. Publicado em: 28/12/2017.

RESUMO

Ontologias são estruturas de organização do conhecimento que podem ser aplicadas a diversos domínios, inclusive arquitetura, engenharia e construção civil (AEC). Para que se estabeleçam relações existentes entre as entidades em determinado contexto, é necessário vinculá-las às representações da modelagem gráfica, bem como elaborar suas definições subsidiadas por um vocabulário controlado. O Building Information Modeling ou Modelagem de Informação da Construção (BIM) é um ambiente tecnológico para a gestão de informações em processos colaborativos, interdisciplinares e interoperáveis, que sinaliza uma adequação semântica das entidades (sejam materiais, objetos, representações) através da validação de compromissos ontológicos. A vinculação Internet of Things ou Internet das Coisas (IoT) a modelos elaborados via BIM permite identificar e localizar as entidades/objetos, evidenciar a interconexão entre eles e incrementar a modelagem das informações. O presente artigo investiga a conexão teórica entre a tecnologia BIM, as ontologias como vocabulários controlados e IoT no âmbito da AEC. Para tal, apresenta revisão de literatura sobre os temas mencionados e elabora descrições empíricas para validação do arcabouço teórico preliminar. Espera-se que a utilização simultânea da modelagem gráfica e da modelagem da informação resulte na criação de uma perspectiva de empreendimento em AEC com correspondência fidedigna ao mundo real, ao mesmo tempo que se adequa à tecnologia IoT Internet das Coisas.

Palavras-chave: Ontologia. BIM. Recuperação da informação. Representação da informação. Internet das coisas.

Ontologies as support for information modeling in architecture, engineering and construction

ABSTRACT

Ontologies are structures of knowledge organization that can be applied to several domains, including architecture, engineering and civil construction (AEC). In order to establish existing relationships between entities in a given context, it is necessary to link them to representations of graphic modeling, as well as to elaborate their definitions subsidized by a controlled vocabulary. Building Information Modeling (BIM) is a technological environment for the management of information in collaborative, interdisciplinary and interoperable processes, which requires the semantic adequacy of entities (be it materials, objects, perspectives) through the validation of commitments Ontological. The connection of Internet of Things (IoT) to the models elaborated via BIM allows to identify and to locate of the entities / objects, to show the interconnection between them and to increase the modeling of the information. This article investigates the theoretical connection between BIM technology, ontologies as controlled vocabularies and IoT within the scope of the AEC. To this end, it presents a review of the literature on the topics mentioned and elaborates empirical descriptions for validation of the preliminary theoretical framework. It is hoped that the simultaneous use of graphical modeling and information modeling will result in the creation of a business perspective in AEC with true correspondence to the real world, while terminologically adequate for IoT.

Keywords: *Ontology. BIM technology. Information Retrieval. Representation of Information. Internet of things.*

Ontologías como soporte para modelar la información en arquitectura, ingeniería y construcción

RESUMEN

Las ontologías son estructuras de organización del conocimiento que pueden aplicarse a diversos dominios, incluyendo arquitectura, ingeniería y construcción civil (AEC). Para que se establezcan relaciones existentes entre las entidades en determinado contexto es necesario vincularlas a las representaciones del modelado gráfico, así como elaborar sus definiciones subsidiadas por un vocabulario controlado. El Building Information Modeling o Modelado de Información de la Construcción (BIM) es un entorno tecnológico para la gestión de la información en procesos colaborativos, interdisciplinarios e interoperables, que señalan una adecuación semántica de las entidades (sean materiales, objetos, representaciones) mediante la validación de compromisos ontológicos. La vinculación Internet of Things o Internet de las cosas (IoT) a modelos elaborados vía BIM permite identificar y localizar las entidades/objetos, evidenciar la interconexión entre ellos e incrementar el modelado de las informaciones. El presente artículo investiga la conexión teórica entre la tecnología BIM, las ontologías como vocabularios controlados e IoT en el ámbito de la AEC. Para ello, presenta revisión de literatura sobre los temas mencionados y elabora descripciones empíricas para validación del marco teórico preliminar. Se espera que la utilización simultánea del modelado gráfico y del modelado de la información resulte en la creación de una perspectiva de emprendimiento en AEC con correspondencia fidedigna al mundo real, al tiempo que se adecua a la tecnología IoT.

Palabras clave: *Ontología. Modelado de información de la construcción. Recuperación de la información. Representación de la información. Internet de las cosas.*

INTRODUÇÃO

A difusão da internet e do trabalho em rede propiciou o aumento da competitividade, possibilitou automação e compartilhamento de atividades e trouxe novas formas de controle e gestão. A partir desse contexto, identificam-se no mercado demandas por melhorias nos processos de negócios, baseadas nos recursos informacionais das organizações. A informação, portanto, torna-se um ativo indispensável para a melhoria das atividades e dos processos que se desencadeiam em produtos e/ou serviços.

As tecnologias de informação e as novas formas de representação do mundo, real e imaginário, têm influenciado profundamente a sociedade atual, indo em direção a um contexto de convergência e integração de tecnologias. Nesse cenário, os limites entre real e virtual, físico e digital estão cada vez mais frágeis e sutis.

A eficiência da gestão de informações, independentemente do domínio de aplicação, é sustentada por teorias que culminam na prática de representação da informação e do conhecimento. O resultado da prática consiste em um modelo representativo com maior similaridade a uma parte da realidade e às demandas explicitadas.

O estudo da prática de modelagem se justifica como apontado por Campos (2004), uma vez que os mecanismos de representação permitem que os processos de formalização sobre os objetos e suas relações em contextos predefinidos possam ser facilmente representados. Outrossim, os modelos são uma maneira de especificar as entidades e as relações entre as entidades dentro do domínio específico de conhecimento.

Existem diferentes metodologias e estruturas para se realizar a representação de modelos, como as linguagens de representação gráfica ou as estruturas terminológicas. Para a representação de processos de negócios, exemplifica-se com a notação BPMN (*Business Process Model and Notation*) que, através dos seus construtos, representa as atividades que acontecem em determinado ambiente com determinado fim.

As ontologias são outra forma para se representar um domínio do conhecimento, estabelecendo uma estrutura que define as regras e critérios que regulam a combinação entre termos e relações em um domínio do conhecimento. As linguagens documentárias são estruturas terminológicas que listam e organizam os conceitos representativos de áreas do conhecimento, de forma mais genérica ou específica. No campo de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem-se a tecnologia BIM (*Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção) para a representação e gestão de informações, tendo como base a simulação do empreendimento em todo seu ciclo de vida.

O aumento da conexão das máquinas e equipamentos significa um volume de dados produzidos que ultrapassa a capacidade de processamento com tecnologias tradicionais. Assim, verifica-se a necessidade de novos processos de representação e organização da informação e do conhecimento que possibilitem a otimização da recuperação de informação. Nesse contexto, vocabulários controlados como as ontologias surgem como soluções promissoras.

As ontologias podem ser aplicadas a diversos domínios, inclusive arquitetura, engenharia e construção. Para estabelecer as relações entre as entidades de um contexto é necessário vinculá-las às representações da modelagem gráfica, além de elaborar suas definições subsidiadas por um vocabulário controlado. A tecnologia BIM, que se configura como um ambiente para a gestão de informações em processos colaborativos, interdisciplinares e interoperáveis, carece de adequação semântica das suas entidades (sejam materiais, objetos, representações) através da validação de compromissos ontológicos. A inserção da *Internet of Things* (IoT) ou Internet das Coisas a modelos elaborados via BIM permite identificar e localizar as entidades/objetos, evidenciar a interconexão entre eles e incrementar a modelagem das informações.

A recuperação da informação de um projeto de engenharia se processa, principalmente, através de três fontes: descrição textual, gráfica e tabelas. Mesmo que todas estejam dentro da mesma tecnologia, precisam estar representadas em uniformidade semântica para que resultem satisfatoriamente como demandas de pesquisa. Logo, o trabalho investiga a conexão teórica entre a tecnologia BIM, as ontologias com os vocabulários controlados e IoT, no âmbito da AEC. Para tal, apresenta uma revisão de literatura sobre os temas mencionados e elabora descrições empíricas para validação do arcabouço teórico preliminar. Espera-se que a utilização simultânea da modelagem gráfica e da modelagem da informação resulte na criação de uma perspectiva de empreendimento em AEC com correspondência fidedigna ao mundo real, ao mesmo tempo que se adequa à tecnologia IoT Internet das Coisas.

Parte-se do princípio que a interseção entre esses três temas poderá trazer avanços significativos para todo o ciclo de vida da construção de edificações. Isso ocorrerá principalmente na melhoria dos processos por meio da representação, recuperação e comunicação da informação entre as etapas. Visando redução ou eliminação de erros, desperdícios, otimização de tempo e melhoria na qualidade, espera-se obter ganhos globais, desde a criação do projeto até a utilização da obra edificada.

Os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa foram os seguintes:

- i. apresentação de arcabouço teórico dos conceitos, a fim de sustentar as proposições apresentadas pelo propósito do trabalho, envolvendo a modelagem gráfica, a modelagem espacial e a modelagem da informação:
 - o primeiro apontamento consistiu na fundamentação sobre modelos de informação da construção com a tecnologia BIM;
 - o segundo apontamento consistiu na fundamentação sobre modelos em ontologias;
 - o terceiro apontamento consistiu na

fundamentação sobre modelos no contexto de vocabulário controlado;

- o quarto apontamento consistiu na fundamentação sobre a IoT internet das coisas;
 - o quinto apontamento consistiu em vincular os apontamentos e propor o *framework*;
- ii. relato da experiência em formato prototípico, com apresentação de resultados.

O trabalho está organizado conforme segue. A primeira seção apresenta a introdução e a metodologia desenvolvida no arrolar da pesquisa. A segunda seção apresenta o *background* sobre os conceitos abordados: tecnologia BIM, ontologias e IoT. A seção 3 relata a aplicação empírica da proposta e apresenta os resultados encontrados. E finalmente, a seção 4 oferece as considerações finais.

BACKGROUND

As ontologias são estruturas representacionais baseadas nos conceitos e nas relações entre eles, dentro de um domínio específico do conhecimento. Assim, elas permitem representar um recorte do mundo e prover soluções semânticas, propiciando e melhorando a interoperabilidade entre sistemas, além de automatizar processos de inferências (TEIXEIRA E AGANETTE, 2016). A partir desse entendimento, justifica-se a relação entre os conceitos abordados neste trabalho.

Propõe-se nesta seção evidenciar a vinculação dos conceitos enquanto solução à geração de modelos representacionais semanticamente consistentes. Teixeira e Baracho (2017) identificaram o *gap* terminológico nos modelos gráficos de empreendimentos, enxergaram os ganhos dessa relação para a AEC e propuseram um *framework* metodológico para futura validação empírica.

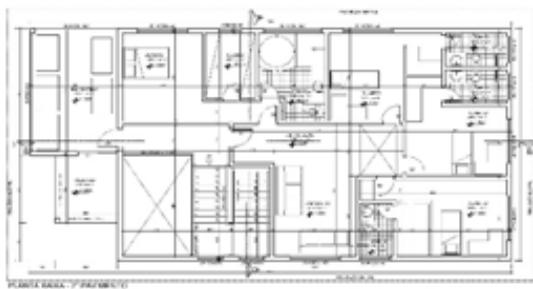
MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Modelos são abstrações para representar parte da realidade. As diferentes metodologias e as diferentes notações utilizadas resultam em modelos representativos similares ou fidedignos ao mundo real. A representação de modelos em AEC demanda tanto em projeto, quanto na execução, tanto no *as built* do empreendimento, a simulação do mundo real. Isso se justifica, pois ele se torna a referência para o planejamento da obra, para a sua construção e para a manutenção da edificação.

A inserção de tecnologias e do trabalho em rede proporcionou mudanças no trabalho de engenheiros, arquitetos e construtores, como no sequenciamento de ações em planejamento e na gestão das informações textuais e gráficas de modo conjunto. A tecnologia BIM, além de atender essas demandas, proporciona recursos de representação e visualização, permitindo a interação direta e intuitiva, bastante similar a uma obra virtual, simulando virtualmente a construção (LEE et al., 2006).

A modelagem arquitetônica de um empreendimento a ser construído, num método tradicional, se inicia pela representação geométrica através de plantas e cortes (figura 1), ou seja, são desenhos geométricos sem semântica ou informação alguma vinculada. Posteriormente, a atividade evolui para a etapa de construção da perspectiva, ou seja, à modelagem tridimensional e simulação do mundo real (figura 2).

Figura 1 – Exemplo de representação geométrica



Fonte: Teixeira e Baracho (2017).

Figura 2 – Exemplo de simulação do mundo real



Fonte: Teixeira e Baracho (2017).

A tecnologia BIM apresenta princípios norteadores que mudam a forma linear e individual do processo de planejamento, execução e manutenção. Considera a edificação como um processo vivo, desde o levantamento dos requisitos feitos pelo arquiteto para iniciar a proposta até o possível descarte da construção, e o trabalho em arquivo digital dinâmico e colaborativo, com o desenvolvimento integrado de todos os projetos, do arquitetônico até os complementares, estrutura, elétrico, hidráulico, lógico, detalhamento. Propõe uma ação integrada e inteligente de desenvolvimento de projeto. Paralelamente, o projeto é criado em três dimensões, simulando virtualmente a situação real. Isso possibilita não só a visão espacial, mas também a compatibilização dos projetos e trabalho colaborativo dos profissionais. Outro ponto da tecnologia BIM é que os elementos são estruturados de maneira inter-relacionada. Existem entidades e relacionamentos nos objetos criados, propondo uma rede de iterações entre os elementos construtivos. Todos os elementos construtivos estão associados a banco de dados.

Conforme Eastman et al. (2008), com a tecnologia BIM um modelo virtual preciso do edifício é construído digitalmente e, quando completo, diferentemente de um simples modelo tridimensional ou desenho bidimensional da tecnologia CAD (Computer Aided Design), contém não só a geometria, mas também diversos dados ou informações relevantes necessárias à construção, fabricação, manutenção 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 modo colaborativo, alterando e dinamizando o ciclo da informação.

De acordo com Pereira Junior e Baracho (2015), a tecnologia BIM pode ser considerada uma evolução em todo o processo construtivo, na medida em que permite novas possibilidades de construção, projeto, planejamento, visualização, representação, processamento, uso e recuperação da informação, contida na representação geométrica e na ligação com os atributos do bando de dados.

Do ponto de vista da gestão do conhecimento, a tecnologia BIM apresenta uma evolução da tecnologia CAD ao trabalhar com informações semânticas sobre os objetos e suas relações, aproximando, assim, a fase de criação, projeto, das fases de execução e monitoramento, durante toda a vida útil do edifício. Um modelo BIM é tridimensional, como um modelo CAD pode ser, mas também é paramétrico e baseado em objetos, o que possibilita a criação de entidades editáveis em suas propriedades nativas e reais, que podem ser alteradas e que se relacionam entre si.

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 *on-line*, e possibilitam que as atualizações sejam facilmente registradas pelos diversos profissionais. 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 maneira colaborativa entre todos os profissionais parceiros: arquitetura, estrutura e instalações.

Na associação entre os elementos da modelagem tridimensional e as suas relações semânticas, “partes do modelo podem ser representadas de diferentes maneiras pelos diferentes aplicativos dos atores do processo” (CORREA e SANTOS, 2014, p.7).

Essa é uma característica da tecnologia BIM, uma vez que o formato padrão de arquivo IFC - *Industry Foundation Classes* - não representa todas as classes de um empreendimento, já que considera os diferentes profissionais com os diferentes tipos de informações e tipos de representação no modelo - culminando em dificuldades na interoperabilidade e gerando retrabalho. Nesse sentido, as ontologias são propostas como a otimização do processo de modelagem da tecnologia BIM ao possibilitarem a integração semântica que poderá regulamentar as trocas de informações demandas no processo.

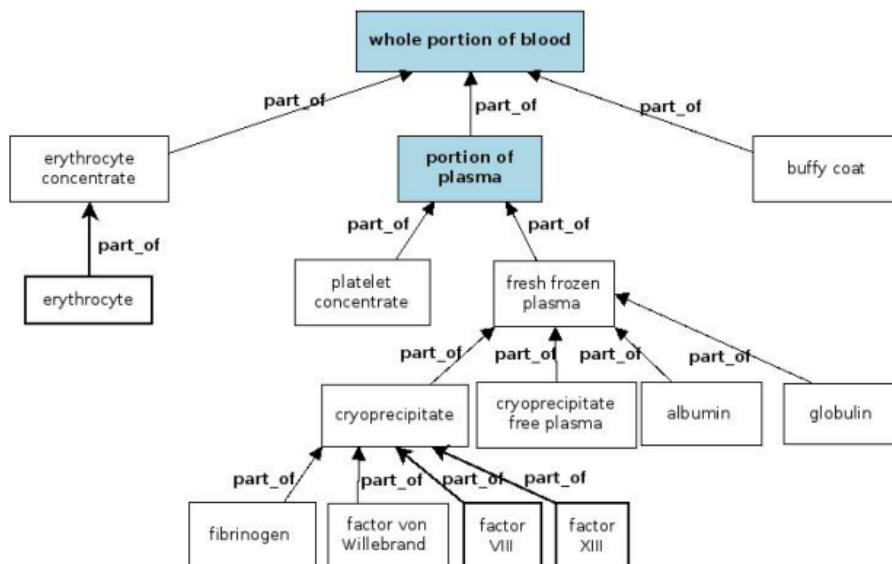
ONTOLOGIA E VOCABULÁRIO CONTROLADO

O tema ontologia foi e é estudado em várias áreas de conhecimento, com abordagens e objetivos diferentes, entre elas a filosofia, a ciência da computação e a ciência da informação, e com aplicações práticas nas mais diversas profissões como medicina, biologia, engenharia e arquitetura. Neste trabalho, ontologia diz respeito a uma representação de parte de determinado domínio, legível por máquina, para fins de representação e recuperação de informação, com possibilidades de inferência automática.

Grenon e Smith (2004, p.138) explicam que as ontologias podem ser definidas como um conjunto de entidades que existem no mundo, organizado através das categorias sob as quais essas entidades simbólicas pendem, e dos diferentes tipos de relações que são mantidas entre elas. Enquanto ferramenta de modelagem, Gassen (2014, p.13) atribui às ontologias os seguintes aprimoramentos, dentre outros existentes: interoperabilidade, validação, tradução, enriquecimento semântico, auxílio na heterogeneidade semântica, integração e assim por diante.

No contexto da AEC, a instanciação é um processo proveniente da modelagem gráfica (como já explicado na seção 2. 1), cujo termo se refere à existência real do objeto. A natureza classificatória das ontologias, ao possibilitar as relações “tipos de” e “partes de” e outras além dessas entre as instâncias e os seus conceitos e termos, confere para si a competência de validar como verdadeiro os compromissos ontológicos existentes entre eles (figura 3).

Figura 3 – Exemplo de identificação de componentes da uma ontologia



Fonte: Mendonça e Almeida (2013, p.169).

Figura 4 – Exemplo de consulta ao termo “brick cement”

brick cement (<cement by property>, cement (construction material), ... Materials (hierarchy name))

Note: Waterproof cement used in masonry work.

Terms:
brick cement (preferred,C,U,English-P,D,U,N)
cement, brick (C,U,English,UF,U,N)
baksteencement (C,U,Dutch-P,D,U,U)
cemento hidrófugo (C,U,Spanish-P,D,U,U)

Facet/Hierarchy Code: M.MT

Hierarchical Position:

- Materials Facet
- Materials (hierarchy name) (G)
- materials (substances) (G)
- <materials by composition> (G)
- inorganic material (G)
- cement (construction material) (G)
- <cement by property> (G)
- brick cement (G)

Fonte: Art & Architecture Thesaurus® Online

A análise detalhada das entidades de um domínio, denominada “análise de princípios ontológicos”, pode ser utilizada como fonte de conhecimento para profissionais que lidam com a modelagem gráfica. Outrossim, considera-se a necessidade de se vincular a semântica e pragmática (Cabré, 2005) ao *frame* do projeto, para que se atenda e satisfaça à complexidade representativa e comunicativa do modelo em elaboração e/ou gerado.

O uso de um vocabulário controlado como base conceitual através da qual uma área do conhecimento está representada pode fundamentar a construção do conhecimento do empreendimento por meio da ontologia.

As linguagens documentárias são instrumentos utilizados para representar, organizar e conseqüentemente, para recuperar informação e conteúdo.

O vocabulário controlado é um tipo de linguagem documentária, assim como os sistemas de classificação bibliográfica, os cabeçalhos de assunto e os tesouros. Os tesouros são utilizados em sistema de informação para representar padronizadamente o conteúdo de documentos através de um controle terminológico (CAFÉ; BRASCHER; SUJII, 1990). Eles organizam um domínio do conhecimento através de seus termos, principalmente em relações hierárquicas (relação gênero/espécie - figura 4) e relações partitivas (relação todo/parte).

Além da dinâmica e fluidez da língua, o contexto da tecnologia BIM é caracterizado pela interdisciplinaridade em um mesmo projeto de empreendimento. Assim, os termos são passíveis de alteração em relação a situações geográficas, em relação às disciplinas que os utilizam, podendo-se existir mais de um conceito para um único termo, e ainda, necessitar a adequação semântica de tradução, dentre outras possibilidades.

A rigidez terminológica embutida em um tesouro busca alcançar uma linguagem comum entre os especialistas através da padronização, otimizando a comunicação naquela área do conhecimento. Na AEC, através da tecnologia BIM, o instanciamento que é gerado pelo banco de dados (como explicado na seção 2.1), naturalmente está relacionado a uma classe e traz consigo os seus atributos e o seu conceito. Entretanto, a padronização e normalização do termo não necessariamente reflete a especificidade da realidade de um empreendimento, e, portanto, demanda a sua construção colaborativa.

O desafio apontado para a gestão de informações em processos colaborativos, interdisciplinares e interoperáveis - características intrínsecas aos processos em BIM - é ressaltado na necessidade da adequação semântica das entidades (sejam materiais, objetos, representações). As incompatibilidades geradas pelas diferenças semânticas, conceituais e terminológicas das entidades do projeto resultam em dificuldades também na recuperação de informação e na comunicação entre os profissionais participantes.

INTERNET DAS COISAS (IOT)

A Internet das Coisas (IoT) conecta objetos e serviços físicos à internet, permitindo a comunicação entre objeto-objeto e entre pessoa-objeto. Para Yang e outros (2010, p. 358), “ao permitir novas formas de comunicação entre pessoas e coisas, e coisas entre si, a IoT adicionaria uma nova dimensão para o mundo de informação e comunicação da mesma forma que a internet fez anteriormente”. Para Lacerda e Lima-Marques (2015, p.159), a IoT “são sistemas, no sentido amplo, interligados entre si em diferentes escalas, formando ecossistemas com componentes biológicos, materiais, urbanos – tendo em comum a informação como substrato”.

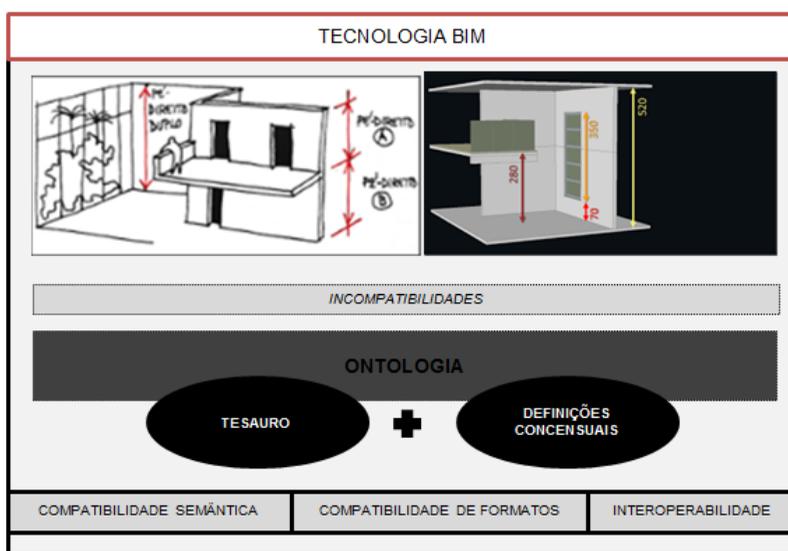
A IoT foi possível a partir do desenvolvimento e ampliação das capacidades das redes de comunicação e dos processadores e circuitos eletrônicos atuais. Os equipamentos, máquinas e produtos industriais que até então funcionavam isolados passam a ter capacidade de processamento e comunicação de dados, conexão, comunicação e acesso à internet embutidas. Assim, automóveis, telefones, televisores, geladeiras e outros tipos de objetos e pessoas, por meio de câmeras, sensores e diferentes tipos de medidas e monitoramento, passam a apresentar capacidade de sentir o ambiente, perceber seu estado e o de outros, além de intercambiar, solicitar, fornecer, delegar, gerenciar e trocar informações, possibilitando novos usos, personalização, automação e análises de desempenho.

Considerando a colocação de Cerp-IoT (2009), a IoT propõe uma rede de informação integrada, uma infraestrutura de rede dinâmica e global, baseada em protocolos de comunicação padronizados e interoperáveis nos quais as coisas físicas e virtuais tem identidade, atributos físicos e personalidades virtuais. Essa definição faz referência direta à necessidade de utilização de ontologias para a representação dessa informação na busca da padronização e interoperabilidade. Outro ponto importante é a utilização de interfaces inteligentes. Acrescenta-se a capacidade de autoconfiguração A com a possibilidade de aprendizagem e autodesenvolvimento.

Com a IoT espera-se que as coisas se tornem participantes ativas, insiram aprendizagem e inteligência, participem dos processos informacionais e sociais com a capacidade de interagir e comunicar com o ambiente por meio dos dados e informações recebidas desse próprio ambiente.

Na AEC, a integração da IoT e tecnologias BIM é tema recente de pesquisa, com pouca produção se comparado às produções em isolado. (BARACHO, PEREIRA JUNIOR E ALMEIDA, 2017). Para além do processo de projeto e construção das edificações, pode-se considerar determinado empreendimento, ou uma cidade com suas edificações, representadas tridimensionalmente por meio da modelagem de informações da construção (tecnologia BIM) e monitorada de maneira dinâmica (IoT), considerada a modelagem da informação de acordo com o espaço, o uso desse espaço, a hierarquia e relacionamento dos objetos com as ontologias. A IoT pode facilitar a implementação plena da tecnologia BIM, auxiliando na passagem das fases de projeto, planejamento e construção, atingindo integralmente os trabalhos nas fases de monitoramento, detecção de falhas, manutenção, gerenciamento de consumo, reforma, revitalização e até mesmo definição da necessidade de descarte de uma construção.

Figura 5 – Proposta de *framework*



Fonte: elaborado pelos autores

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O ATT - The Art & Architecture Thesaurus¹ é um tesouro que inclui os termos, as descrições e outros metadados a respeito de conceitos relacionados à arte, arquitetura, conservação, arqueologia e patrimônio cultural, incluindo ainda tipos de trabalhos, estilos, materiais, técnicas e outros. De acordo com Alexiev, Isaac e Lindenthal (2015), a maioria das relações entre os termos no referido tesouro são de TG (Termo Genérico), embora também existam TRP (Termos de Relação Partitiva - parte/todo), ressaltando ainda que essas relações são do tipo hierárquicas (generalização e especialização). Já as ontologias são capazes de especificar explicitamente a semântica dos termos de um domínio do conhecimento.

Essa característica possibilita sua utilização enquanto apoio à definição dos referidos termos naquele contexto - otimizando o processo de comunicação, além de apresentar uma solução a problemas de interoperabilidade semântica entre sistemas. Por isso, elas podem proporcionar a troca de informação entre sistemas e até mesmo entre pessoas (JASPER; USCHOLD, 1999). As relações que se estabelecem entre os termos em uma ontologia são resultantes do estudo do domínio.

¹ <http://www.getty.edu/research/tools/portal/index.html>

A vinculação da modelagem da informação da construção e do uso de IoT em AEC às ontologias e linguagens documentárias fundamenta a proposta de solução à geração de modelos representacionais semanticamente consistentes. O vínculo se justifica pela necessidade de estabelecer as relações entre as entidades de um contexto e vincular as mesmas às suas representações na modelagem gráfica incorporando as suas definições subsidiadas por um vocabulário controlado específico. Ou seja, utilizando-se do tesouro se dará subsídio à construção da definição consensual para o conceito na ontologia, onde também serão estabelecidos os tipos de relações associativas existentes entre os conceitos e respectivas descrições no contexto do empreendimento (figura 5).

RELATO DA EXPERIÊNCIA

A expectativa da prática está relacionada à utilização simultânea da modelagem gráfica e da modelagem conceitual resultando na criação de um modelo de empreendimento bem fundamentado, com correspondência executável no mundo real e documentada de forma terminologicamente adequada. Teixeira e Baracho (2017) propuseram um *framework* metodológico que será validado através de definições empíricas.

Para testar e validar o *framework* proposto foi seguido o seguinte roteiro metodológico:

1. Escolhido o termo em português e seu equivalente na língua inglesa.

TERMO	EM PORTUGUÊS	pé direito
	EM INGLÊS	ceiling height; headroom

2. Posteriormente, procedeu-se à pesquisa pelo termo em inglês no Tesouro.

DEFINIÇÃO PADRONIZADA “AAT”

Research
 Research Home > Tools > Art & Architecture Thesaurus > Search Results
 Art & Architecture Thesaurus® Online Search Results
 Find Name: **side wall**
 Logic:
 Note: 1 result
 1. **fill papers**
 (<wall coverings by location or context>, wall coverings, ... Furnishings and Equipment (hierarchy name)) [300204057]
 sidewalls
 side walls
 walls- side

Research
 Research Home > Tools > Art & Architecture Thesaurus > Search Results
 Art & Architecture Thesaurus® Online Search Results
 Find Name: **headroom**
 Logic:
 Note: 0 results
 Your search has produced no results. Please refine your search by clicking on [New Search](#).

Research
 Research Home > Tools > Art & Architecture Thesaurus > Search Results
 Art & Architecture Thesaurus® Online Search Results
 Find Name: **ceiling height**
 Logic:
 Note: 0 results
 Your search has produced no results. Please refine your search by clicking on [New Search](#).

Research
 Research Home > Tools > Art & Architecture Thesaurus > Search Results
 Art & Architecture Thesaurus® Online Search Results
 Find Name: **ceiling**
 Logic: **AND**
 Note: **height**
 0 results
 Your search has produced no results. Please refine your search by clicking on [New Search](#).

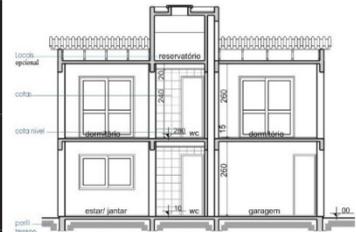
Research
 Research Home > Tools > Art & Architecture Thesaurus > Search Results
 Art & Architecture Thesaurus® Online Search Results
 Find Name: **wall**
 Logic: **AND**
 Note: **ceiling**
 4 results
 View Selected Records Select All Records Clear All
 Page: 1
 Click the icon to view the hierarchy. Check boxes to view multiple records at once.

1. **mural painting (image-making)**
 (painting (image-making), <painting and painting techniques>, ... Processes and Techniques (hierarchy name)) [300178677]
 wall painting (image-making)
 wall-painting (image-making)
2. **mural paintings (visual works)**
 (<paintings by location or context>, paintings (visual works), ... Visual and Verbal Communication (hierarchy name)) [300033644]
 painting, wall (object)
 wall-painting (object)
 wall painting (object)
 wall paintings (objects)
 wall-paintings (objects)
3. **wallboard**
 (building board, building materials, ... Materials (hierarchy name)) [300132980]
 board, wall
 dry-wall (wallboard)
 dry wall (wallboard)
 wall-board
 wall board
4. **wallpapers**
 (<wall coverings by form>, wall coverings, ... Furnishings and Equipment (hierarchy name)) [300037366]
 wall-paper
 wall-papers

Diante da indisponibilidade de resultados pelos termos originais, optou-se pela busca booleana. Ainda assim, buscou-se intuitivamente alcançar o conceito “do piso ao teto”, sem sucesso.

3. A terceira etapa consistiu em levantar de profissionais de diferentes formações e que atuam nos mesmos projetos dentro de uma mesma organização, as definições em linguagem natural para os termos em língua portuguesa.
4. Para a construção do termo para um empreendimento específico, utilizou-se como referência uma representação gráfica, e a partir da observação da imagem por ambas, dos seus conhecimentos e das definições levantadas, construiu-se a definição no contexto. No caso em específico, como não houve sucesso na pesquisa no ATT, realizou-se a busca outra fonte, para que exista uma referência padronizada.

DEFINIÇÃO EM LINGUAGEM NATURAL	
POR ARQUITETA 1	"Pé direito refere-se à altura do piso ao teto de um único pavimento."
POR ARQUITETA 2	"Pé direito: altura do piso ao teto em um pavimento. Admite-se pé direito duplo ou triplo."
POR ENGENHEIRA	"Na engenharia, usamos a expressão "pé direito" quando nos referimos a altura do piso até o teto."

CONSTRUÇÃO DO TERMO NO EMPREENDIMENTO			
TERMO	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	DEFINIÇÕES UTILIZADAS	DEFINIÇÃO CONSENSUAL
EM PORTUGUÊS: pé direito		ATT: termo indisponível	<p>"Pé direito refere-se à altura do piso ao teto de um único pavimento."</p> <p>Neste empreendimento, consideram-se então vários "pé-direitos", uma vez que ele apresenta vários blocos, com vários andares e alturas diferentes.</p>
EM INGLÊS: ceiling height; headroom		ARQUITETA 1: "Pé direito refere-se à altura do piso ao teto de um único pavimento."	
		ARQUITETA 2: "Pé direito: altura do piso ao teto em um pavimento. Admite-se pé direito duplo ou triplo."	
		ENGENHEIRA: "Na engenharia, usamos a expressão "pé direito" quando nos referimos a altura do piso até o teto."	
		DICIONÁRIO ESPECIALISTA: Diferença entre a cota do piso e a cota do tecto de uma casa. Diferença de cota entre o piso inferior e o piso superior, incluindo a espessura da laje superior.	

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Identificado o *gap* semântico que resulta nas dificuldades de interoperabilidade e comunicação em processos de modelagem de empreendimentos em tecnologia BIM e IoT, foi proposto vincular diferentes metodologias de representação da informação e do conhecimento como solução.

Para tal, foi realizada a revisão de literatura dos temas, a saber: i) tecnologia BIM; ii) ontologias e vocabulário controlado; e iii) internet das coisas.

Os estudos teóricos apontaram as contribuições dos instrumentos de representação da informação, aqui os tesouros e ontologias, quando se assume a relevância das naturezas terminológicas (conceitos e relações), assertivas (axiomas aplicados aos conceitos e relações) e pragmáticas (conhecimento consensual) para o contexto da AEC, utilizando-se da plataforma BIM e IoT.

Com a aplicação da metodologia observou-se que a amplitude do ATT não cobre todos os termos e que uma alternativa deve ser disponibilizada para essas situações.

Buscou-se por outros tesouros em arquitetura, sendo encontradas duas iniciativas brasileiras: *Thesaurus Experimental de Arquitetura*, um projeto descontinuado da USP, e *Thesaurus BRASED*, também descontinuado. Como o ATT é o único em que se obteve resultado na pesquisa, optou-se por utilizar a definição do termo extraído de um dicionário da arquitetura² disponível na internet.

O levantamento de definições junto às especialistas iniciou-se de maneira bem curiosa. Ambas buscaram o entendimento global da pesquisa e demonstraram bastante interesse pelo conhecimento prévio em relação à tecnologia BIM e por haver consciência de algumas de suas deficiências em relação à classificação de objetos e adequação de objeto à especificação da engenharia. A elaboração individual das definições realizou-se bem rapidamente. Ao realizar a leitura dessas definições, alguns questionamentos em relação “ao que seria o *teto*” apareceram: é o telhado, a alvenaria ou o acabamento (forro)? Para elaborar a definição, tomou-se como referência um projeto de empreendimento para que pudessem se basear. Procedeu-se então à observação da imagem, à leitura das definições em linguagem natural e em seguida à leitura da definição apresentada pelo dicionário. Assim, após trabalho conjunto, chegou-se ao resultado final.

O processo demonstrou muita riqueza e reflexão das profissionais, e foi capaz de definir, em relação ao projeto em específico, o que de fato significava “pé direito” naquele empreendimento. Como se trata de um projeto com alturas diferentes, a definição deveria abarcar as duas possibilidades. Observa-se que um resultado na tecnologia, por exemplo, seria a não possibilidade de atribuir uma janela mais alta que o pé direito do imóvel no projeto.

Através do modelo bem referenciado, será possível minimizar inconsistências com a demanda original do desenvolvimento (cliente); maior assertividade na identificação, descrição e relacionamento das entidades utilizadas no empreendimento em seu domínio real; e sustentar a comunicação eficiente

entre diferentes áreas do conhecimento, diferentes línguas e conseqüentemente, diferentes denominações terminológicas dos mesmos conceitos.

A aplicação tecnológica do trabalho apresentado e validado empiricamente depende ainda de desdobramentos e suporte para desenvolvimento, o que desde o princípio não se configurou como um objetivo.

Considera-se aqui ontologia como a forma de representar os objetos e suas relações para ser utilizada em sistemas BIM e de Internet das coisas. Sistemas de Internet das Coisas como sistemas robustos que, por meio dos sensores, captam, transmitem e monitoram as informações dos ambientes ou coisas. E a tecnologia BIM, que possibilita a simulação das edificações em três dimensões com a interligação de informações construtivas ligadas a banco de dados

Finalmente, fica uma observação de que a união desses conceitos poderá trazer inovações para o processo, e a necessidade de desenvolvimento de pesquisas teóricas e aplicações práticas que podem confirmar a premissa estabelecida.

REFERÊNCIAS

ALEXIEV, V.; ISAAC, A.; LINDENTHAL, J. On the composition of ISO25964 hierarchical relations (BTG, BTP, BTI). *International Journal Digital Library*, v. 17, n. 1, p. 39-48, 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00799-015-0162-2>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

BARACHO, R. M. A.; PEREIRA JUNIOR, M. L.; ALMEIDA, M. B. Ontologia, internet das coisas e modelagem da informação da construção (BIM): estudo exploratório e a inter-relação entre as tecnologias. In: ONTOBRAS, 2017. *Anais...* 2017.

CAFÉ, L. M. de M. de; BRASCHER, M. B. M.; SUJII, M. K. Elaboração de tesouros utilizando-se o programa de elaboração de tesouros em microcomputador. *Revista de Biblioteconomia*, v. 18, n. 2, p. 185-192, jun./dez. 1990. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/123456789/339>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

CAMPOS, M. L. A. Modelização de domínios de conhecimento: uma investigação de princípios fundamentais. *Ciência da Informação*, v. 33, n. 1, 2004.

² <https://www.engenhariacivil.com/dicionario/dicionario-arquitetura>

- CORREA, F. R.; SANTOS, E. T. Ontologias na construção civil: uma alternativa para o problema de interoperabilidade com o uso do IFC. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, v. 9, n. 2, p. 7-22, jul./dez. 2014. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/69141/93381>>. Acesso em: 16 jul. 2017.
- EASTMAN, C. et al. *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.
- GRENON, P.; SMITH, B.; GOLDBERG, L. Biodynamic ontology: applying BFO in the biomedical domain. In: PISANELLI, D. M. *Ontologies in Medicine*. Amsterdam: IOS Press, 2004.
- INTERNET OF THINGS EUROPEAN RESEARCH CLUSTER - CERP IOT. *Internet of things: strategic reserach roadmap*. 2009. Disponível em: <http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf>. Acesso em: 18 maio 2016.
- JASPER, R.; USCHOLD, M. *A framework for understanding and classifying ontology applications*. 1999. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.39.6456>>. Acesso em: 11 maio 2017.
- LACERDA, F.; LIMA-MARQUES, G. Da necessidade de princípios de arquitetura da informação para a internet das coisas. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v. 20, n. 2, p. 158-171, 2015.
- LEE, G. et al. Specifying parametric building project behavior (BOB) for a building information modeling system. *Automation in Construction*, n. 15, p.758-776, 2006. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/autcon>. Acesso em: 14 jul. 2017.
- MENDONÇA, F. M.; ALMEIDA, M. B. Um estudo de caso na construção de ontologias biomédicas: uma ontologia de domínio sobre hemoterapia. In: ONTOBRAS, 2013. *Anais...* 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: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO ARQUITETURA E DOCUMENTAÇÃO, 4., 2015, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: [s.n.], 2015.
- TEIXEIRA, L. M. D.; AGANETTE, E. C. Ontologias no suporte à caracterização de processos uma proposta de estudo. In: CONFERÊNCIAS IBERO-AMERICANAS WWW/INTERNET E COMPUTAÇÃO APLICADA, 2016. *Actas...* 2016. P. 149-159.
- _____; BARACHO, R. M. A. Considerações ontológicas sobre modelar em AEC. In: ONTOBRAS, 2017. *Anais...* 2017.
- YANG, D.; Liu, F.; LIANG, Y. A survey of the internet of things. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-BUSINESS INTELLIGENCE, 2010. *Proceedings...* 2010.