

ONTOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ALTERNATIVA PARA O PROBLEMA DE INTEROPERABILIDADE COM O USO DO IFC

Ontologies in Building Construction: An Alternative to the Problem of Interoperability Using IFC

Fabiano Rogerio Correa¹, Eduardo Toledo Santos¹

RESUMO A interoperabilidade, ou seja, a possibilidade de trocar informação entre softwares distintos, de modo transparente, por meio de um modelo digital, é um dos grandes benefícios prometidos e ainda não totalmente cumpridos com a adoção da Modelagem da Informação da Construção (BIM). O esquema aberto de dados *Industry Foundation Classes* (IFC), criado para favorecer a interoperabilidade, foi amplamente incorporado pelas grandes empresas de software. Ele compreende um conjunto de classes que representa um edifício em todo o seu ciclo de vida. No entanto, para contemplar as necessidades dos diferentes profissionais que lidam com o modelo, e que demandam informação e representações distintas para um mesmo elemento da construção, detalhes da implementação de certos elementos foram deixados em aberto. Assim, partes do modelo podem ser representadas de diferentes maneiras pelos diferentes aplicativos dos atores do processo, dificultando a interoperabilidade plena e gerando a necessidade de retrabalhar o modelo a cada troca. Considera-se que uma alternativa para este problema é a criação de uma camada de significado comum - uma ontologia - para regulamentar estas trocas. Neste contexto, o artigo apresenta, discute e compara duas abordagens bem distintas para solucionar o problema da interoperabilidade usando o IFC: a transformação do IFC (EXPRESS) em uma ontologia, mapeando-o na *Web Ontology Language* (OWL); e o uso do IFC com a posterior formalização da troca de informações entre diferentes disciplinas ligadas à construção seguindo as *Model View Definitions* (MVDs), que especificam que partes do IFC são pertinentes a cada troca e como o modelo deve ser preenchido com a informação. A comparação é feita em termos de quais limitações ou deficiências do IFC podem ser corrigidas com uma e outra abordagem.

PALAVRAS-CHAVE Modelagem da Informação da Construção (BIM). Interoperabilidade. IFC.

ABSTRACT Interoperability, i.e., the possibility to exchange information between distinct software, in a transparent way, by means of a digital model, is one of the major benefits promised and still not fully accomplished with Building Information Modeling (BIM) embracing. The open data schema *Industry Foundation Classes* (IFC) was created to favor interoperability and it was largely incorporated by most of the software companies. It comprehends a set of classes that represents a building in its whole life-cycle. However, to contemplate the needs from different professionals that deal with the model, and demand distinct information and representations for the same building element, many of the implementation details were not specified. Thus, parts of the model can be represented in different ways, by each of the different software used by actors in the process, making interoperability difficult and generating the necessity of manual reworking of the model at each exchange. One alternative to this problem is the creation of a layer of common meaning - ontology - to regulate the exchanges. This article presents, discusses and compares two distinct approaches for the solution of the IFC interoperability problem: transforming IFC (EXPRESS) into *Web Ontology Language* (OWL) and the formalization of *Model View Definitions* (MVDs), that are used to regulate information exchange. The base of comparison between the solutions is in terms of which limitations or deficiencies of IFC could be handled with each approach.

KEYWORDS Building Information Modeling (BIM). Interoperability. IFC.

¹Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - PCC- EPUSP, São Paulo - SP, Brasil.

INTRODUÇÃO

Segundo a filosofia de trabalho colaborativo da Modelagem da Informação da Construção (BIM), são esperadas diversas trocas de informação entre os profissionais envolvidos na construção civil, por meio de modelos computacionais que representam todo um empreendimento. Neste cenário, um mesmo modelo federado, carregando informação a respeito do projeto, construção, operação e manutenção de um edifício, é compartilhado entre os diferentes atores do processo, que acessam e eventualmente modificam apenas as partes do modelo que lhes são relevantes.

É vital que a interoperabilidade, ou seja, a possibilidade de troca de informação entre todas as aplicações envolvidas, funcione adequadamente para evitar a necessidade de retrabalho por parte dos profissionais. O retrabalho manual desencoraja a troca de informações entre as aplicações, impossibilita a automação destes mesmos processos de troca e aumenta a probabilidade de introdução de erros durante a cópia manual de informações de uma aplicação para outra (EASTMAN et al., 2011).

Parte importante do valor agregado ao BIM está associada à promessa de eficiência da interoperabilidade, para proporcionar um fluxo de informações/trabalho transparente entre as diferentes disciplinas dentro de um projeto (YOUNG et al., 2009). Desta maneira, a existência de modelos comuns (e, portanto, abertos) que possam ser compartilhados pelas partes interessadas num projeto de engenharia é crucial para aumentar a eficiência da colaboração na indústria da construção (BEETZ et al., 2010).

As empresas de software, que inicialmente gastavam tempo e recursos financeiros para desenvolver aplicativos para traduzir seus modelos proprietários para cada uma das outras plataformas existentes, no intuito de prover algum grau de interoperabilidade, decidiram em 1994 criar um consórcio (IAI, hoje conhecido como buildingSMART) interessado em desenvolver um modelo de dados aberto. Fruto desta iniciativa foi o *Industry Foundation Classes* (IFC), que consiste num esquema conceitual de dados e um formato de arquivo para troca de dados, contemplando todos os elementos pertinentes a um edifício em todo o seu ciclo de vida.

A indústria da construção civil e os grandes fabricantes de software têm aderido à utilização deste formato, mas o problema da interoperabilidade está longe de ser resolvido, mesmo com o emprego do IFC. As causas desta situação são muitas, mas a principal delas é inerente ao próprio IFC e, em última instância, ao próprio conceito de modelo de produto. Para atender às necessidades e especificidades das diversas áreas de profissionais envolvidos (arquitetos, engenheiros, construtores, etc.), que precisam de informação e representação diferentes para um mesmo elemento da construção dependendo do uso que se fará deles, os desenvolvedores do modelo deixaram em aberto os detalhes de implementação de alguns elementos do modelo, ou permitiram que estes elementos pudessem ser modelados de mais de uma maneira (EASTMAN et al., 2011). Deste modo, uma informação inserida por um profissional usando um software A, pode não ficar registrada quando este modelo for recebido por um profissional usando um software B. O software pode simplesmente ignorar a informação, ou a colocar num local do modelo que não é transparente ao usuário que muitas vezes nem se dá conta deste fato.

Portanto, o IFC, como todo esquema para modelagem de produtos, é rico e altamente redundante, oferecendo múltiplos modos para se definir objetos, relações e atributos. E esta é a causa da necessidade de retrabalho manual, já que as rotinas de importação e exportação dos

modelos não tem como prever como a informação foi modelada pelo software de origem, ou onde dentro do modelo uma informação específica se encontra, necessitando que o profissional ganhe a experiência de saber como cada software opera com o modelo IFC. No que diz respeito aos detalhes de implementação de partes do modelo, a buildingSMART tem aos poucos liberado documentos que são acordos formais (*Implementation Agreements*) em como modelar estes elementos dentro da liberdade permitida pelo IFC.

Além disso, outra dificuldade em se trabalhar com o IFC, e que também atrapalha a interoperabilidade, é sua abrangência e complexidade, tornando-o difícil de ser manipulado e compreendido em sua totalidade pelos profissionais responsáveis pela modelagem.

Diante deste cenário, as trocas de informações entre os profissionais do meio, que empregam diferentes softwares, tem exigido constante retrabalho manual nos modelos, atrapalhado assim a obtenção plena da interoperabilidade, e conseqüentemente do desenvolvimento de todo o potencial do BIM (VENUGOPAL et al., 2012).

Uma das soluções para este problema é por meio do emprego de ontologias. Uma ontologia pode ser compreendida como a formalização de conceitos referentes a um determinado contexto, usando uma linguagem específica que permite a dedução lógica de informação a partir de uma base de conhecimento.

Ontologias têm sido propostas na construção civil para diferentes propósitos (ABANDA; TAH; KEIVANI, 2013). No que diz respeito à interoperabilidade, as pesquisas direcionam-se no sentido de incorporar uma camada extra de significado, onde os diferentes modelos possam ser mapeados até o nível dos detalhes, numa linguagem que é interpretada tanto pelos usuários quanto pelas máquinas. Esta camada de significado nada mais é do que um conjunto de conceitos, propriedades e relações entre os elementos pertinentes ao contexto, organizados numa hierarquia e, eventualmente, regras para a manipulação automática dos mesmos.

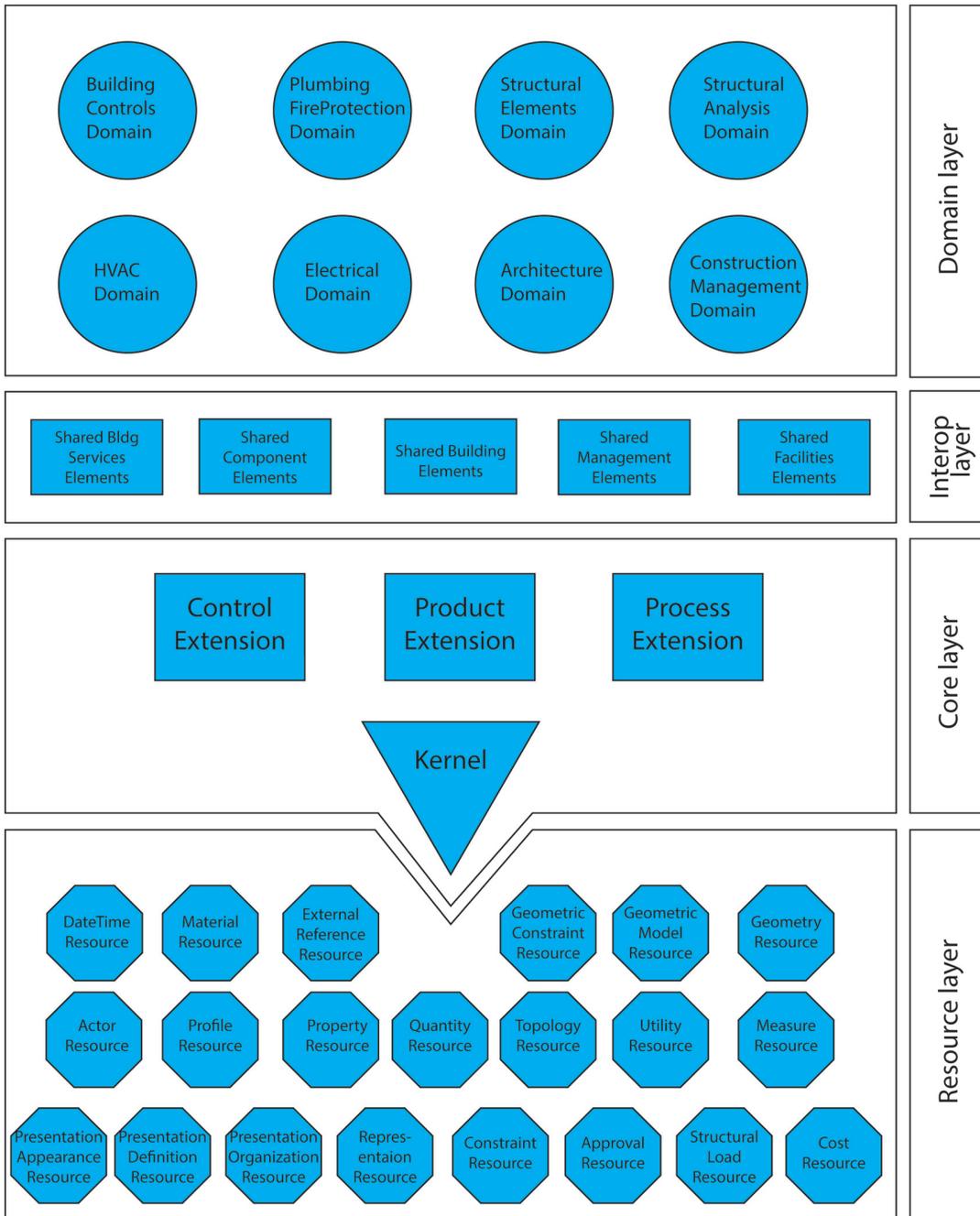
Neste artigo são apresentadas e comparadas duas abordagens distintas que foram propostas por diferentes pesquisadores para resolver o problema de interoperabilidade com o uso do IFC. A seção 2 é destinada à exposição do IFC e do MVD, suas definições e utilização na indústria da construção. A seção 3 é destinada a formalizar os conceitos mais importantes referentes às ontologias, e apresenta também uma breve revisão bibliográfica sobre o emprego de ontologias na área da Arquitetura, Engenharia, Construção e Gerenciamento de Facilities (AEC/FM). Na seção 4 é apresentada uma das soluções para este problema que consiste na transformação do IFC escrito em EXPRESS numa ontologia escrita em OWL – que é a linguagem adotada para a criação da Web Semântica. A Web Semântica é um novo paradigma da Internet, onde os dados têm um significado associado a eles. Esta abordagem tem o potencial de facilitar todos os processos envolvendo a manipulação do modelo. Na seção 5, apresenta-se uma alternativa, onde o IFC é usado em conjunto com os MVDs, que regem diretamente as trocas de informações entre os softwares. A proposta é a de criar-se uma ontologia no nível da criação/cominação de MVDs para regulamentar diferentes trocas. A seção 6 compara as duas propostas tomando como base quais deficiências do IFC podem ser suplantadas com uma ou outra, e a seção 7 apresenta as conclusões e futuras direções para a solução deste problema.

INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC) E MODEL VIEW DEFINITION (MVD)

O IFC foi definido na linguagem de especificação de dados EXPRESS, e em sua versão IFC4 de 2013 contém 126 definições de tipos, 206 enumerações, 59 seleções, 766 entidades, 42 funções, 2 regras, 408 conjuntos de propriedades, 91 conjuntos de quantidades e 1691 propriedades individuais (buildingSMART, 2013).

A arquitetura do esquema de dados IFC define as entidades que poderão compor os modelos BIM, bem como suas propriedades e as relações permitidas entre elas. Estas entidades foram distribuídas em quatro camadas conceituais (Figura 1):

Figura 1. Arquitetura do modelo de dados IFC4. Fonte: (buildingSMART, 2013).



- **Recursos:** a camada mais inferior contém as definições dos recursos, tais como a geometria, material e quantidade. Os recursos não possuem um identificador único global e por isso não podem ser usadas independentemente; existem apenas quando referenciadas direta ou indiretamente pelas entidades das camadas superiores;
- **Núcleo:** contém as definições das entidades mais gerais como, por exemplo, os conceitos relacionados aos produtos físicos (*IfcBuilding*). A partir desta camada, as entidades recebem um identificador único global, com a opção de registro de informações sobre o criador da entidade e todo o seu histórico;
- **Interoperabilidade:** contém definições que são específicas a um produto, processo ou recurso geral que são utilizados entre diferentes disciplinas, como troca de informações entre domínios e compartilhamento de informações da construção. As entidades parede, coluna e janela, por exemplo, fazem parte desta camada e possuem uma geometria associada. Constituem o projeto arquitetônico e da estrutura do prédio, sendo centrais na troca de dados do projeto;
- **Domínios:** a camada mais superior inclui definições de entidades que são especializações de produtos, processos e recursos específicos para certa disciplina.

Observa-se, portanto, que existe um significado implícito às entidades, onde todos os envolvidos num projeto de construção civil estão de acordo. Mas no nível dos detalhes como, por exemplo, para a fabricação dos elementos, o IFC não estabelece um controle rigoroso, ou seja, não provê uma maneira única de se realizar a modelagem, o que atrapalha a interoperabilidade. Assim, o IFC não constitui-se numa ontologia quando o contexto, que está sendo considerado no presente artigo, é o dos sistemas de base de conhecimento (*Knowledge Base Systems - KBS*); o IFC pode ser entendido como uma ontologia no contexto de conhecimento factual de domínio (CHANDRASEKARAN; JOSEPHSON; BENJAMINS, 1999)¹.

Como diferentes profissionais necessitam de partes distintas do modelo, ou até mesmo dos mesmos elementos, mas com informação e representação diferenciadas, percebeu-se então que para favorecer a interoperabilidade com o uso do IFC era necessário determinar um modo de especificar e acessar apenas as partes relevantes do modelo para cada uma das possíveis trocas de informação.

Para resolver este último problema, foi criado em dezembro de 2007, uma nova especificação, chamada de *Model View Definition (MVD)*, que define subconjuntos do esquema IFC e provê conselhos sobre como implementar os conceitos envolvidos em cada troca. No entanto, poucas trocas foram implementadas para o IFC2x3, e para o IFC4 as especificações ainda não foram disponibilizadas (VENUGOPAL et al., 2012).

Os MVDs foram concebidos como uma parte autocontida do esquema IFC, um subconjunto específico para um determinado uso ou troca de informação. Mas novamente, não existe uma maneira automática de se gerar ou até mesmo organizar os MVDs dentro das inúmeras trocas necessárias para os processos BIM. Organizações e grupos de trabalho tem se dedicado a sistematizar este processo de criação das MVDs e focado no desenvolvimento de MVDs específicos.

Segundo o National BIM Standard-US (NBIMS), a criação do MVD deve seguir um processo que consiste em 13 passos a serem realizados, dentro de quatro fases:

¹ A diferença principal é que no primeiro caso, espera-se usar a ontologia para fazer inferências, e no segundo apenas para sistematizar um vocabulário ou uma representação de um domínio.

- Formação de um grupo de trabalho e identificação do escopo e do contexto das trocas de informações envolvidas no caso (criação do Manual de Entrega de Informações – *Information Delivery Manual (IDM)*);
- Os requisitos de troca identificados no IDM são estruturados num conjunto de módulos de informações, chamado Conceitos;
- Implementação das vistas do modelo pelas companhias de software;
- Desenvolvimento de diretrizes para documentação de vistas do modelo dentro de cada aplicação de suporte.

Estas são apenas duas das mais importantes especificações propostas pela *buildingSMART*, e que têm se desenvolvido ao longo do tempo e integrado os processos BIM das maiores empresas de software.

ONTOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Uma ontologia é uma descrição formal e explícita de conceitos, suas propriedades e relações, que permite uma série de funcionalidades: podem ser dinamicamente adaptadas de acordo com os dados, compartilhadas, ser associadas a modelos maiores e usadas para deduzir conhecimento quando existem incertezas e os dados são limitados (AKSAMIJA; GOBLER, 2007). Neste sentido, é importante destacar novamente que o IFC, assim como outros modelos de dados, apesar de incluir semântica, não se configura numa ontologia.

Volk, Stengel e Schultmann (2014) fizeram uma revisão de trabalhos referentes ao uso do BIM. Uma das quatro categorias criadas para sistematizar as pesquisas diz respeito justamente ao problema da interoperabilidade e do formato de dados IFC, demonstrando sua importância no meio. Além disso, Abanda, Tah e Keivani (2013) investigaram as pesquisas no ambiente construído relacionadas à Web Semântica, onde dentre outras tecnologias se inclui o emprego de ontologias. Apesar de faltar uma análise mais aprofundada do assunto, o artigo lista uma grande quantidade de trabalhos na área, onde a maioria emprega ontologias, de uma forma ou de outra, para resolver os mais diferentes problemas encontrados na Construção. Da coletânea retratada, pode-se destacar alguns trabalhos para ilustrar o potencial que o uso de ontologias pode trazer para as aplicações na construção civil e, em especial, na resolução do problema de interoperabilidade.

Aksamija e Gobler (2007) apresentam uma ontologia para representar toda informação necessária no projeto arquitetônico de edifícios altos, explicitando os conceitos mais importantes e suas interrelações. Esta ontologia é apenas um dos passos necessários para se propor um sistema que produza alternativas de projeto automaticamente, segundo os requisitos e restrições dados.

Cheng, Trivedi e Law (2002) propõem o mapeamento de “ontologias” nos formatos PSL, ifcXML e aecXML para que seja possível trocar informações entre softwares distintos, não importando o formato em que o modelo foi criado, visando o gerenciamento de projetos e planejamento.

Cruz, Marzani e Boochs (2007) criaram um sistema que, com o auxílio de entradas do usuário, permite reconhecer objetos da construção, definidos segundo o IFC, a partir de uma nuvem de pontos obtidas por um sensor de varredura laser. Este sensor é usado para obter medidas rápidas e precisas do ambiente para a construção da documentação e representação do edifício conforme construído (*as built*). O reconhecimento é guiado por meio de uma ontologia que representa a estrutura espacial do ambiente e a semântica dos elementos que constituem uma edificação.

El-Mekawy e Östman (2010) abordam o problema da interoperabilidade no contexto da modelagem tridimensional de cidades, onde são muito usados o IFC (para o BIM) e o CityGML (para o Sistema de Informação Geográfica - GIS). Por terem representações diferentes para os mesmos elementos, e por terem um escopo distinto, onde o IFC lida com edifícios, e o CityGML com conjuntos de edifícios formando cidades, é necessário criar uma ontologia para formalizar as representações e permitir que um modelo possa ser lido e representado usando qualquer um dos dois formalismos.

Han, Jeong e Lee (2011) propõem um sistema de gerenciamento de energia para edifícios, buscando assim obter uma maior eficiência energética no seu funcionamento. A arquitetura do sistema consiste num conjunto de sensores que coletam dados acerca do atual estado dos equipamentos. Estes dados alimentam rotinas de inferência que, com o emprego de quatro ontologias (arquitetura, contexto, causa e controle), analisam o contexto da edificação e decidem se o estado atual do edifício está normal ou anormal, e envia comandos de controle de acordo com a situação.

Kim e Gobler (2009) criaram uma ontologia (OWL) para prover uma verificação de consistência na coordenação de projeto dentro do paradigma do BIM (IFC). Usando uma ontologia, é possível representar as restrições e os requisitos de projetos, e usá-la para validar o projeto conforme ele sofre alterações nas muitas interações por diferentes profissionais.

Lima, EL-Diraby e Stephens (2005) apresentam a plataforma e-COGNOS, parte de uma iniciativa europeia para a introdução de uma base de conhecimento referente aos processos da construção para auxiliar no gerenciamento da informação. A plataforma consiste num portal que provê serviços pela Web, com base nas tecnologias SOAP, UDDI, WSDL e XML. Estes serviços aceitam ontologias ou modelos de dados (como o IFC) para lidar com sete atividades principais: aquisição, transformação, indexação, atualização, reparo, busca/recuperação, e compartilhamento/disseminação.

Schevers et al. (2007) combinam a utilização do IFC, para representar o Sydney Opera House, e RDF/OWL, como tecnologias ligadas à Web Semântica, num protótipo para gerenciamento de *facilities*, permitindo e facilitando o acesso à informação e ao cruzamento de dados de diferentes fontes (códigos de obras, bases de dados de *benchmark* e sistemas de informação), obtendo assim o que foi chamado de “modelo digital da *facility*”.

Entende-se que o uso de ontologias, num contexto onde existem mais de um tipo de especificação de dados, é a solução mais adequada, permitindo a interoperabilidade entre softwares com diferentes funcionalidades.

ELEVANDO O IFC A UMA ONTOLOGIA

A primeira proposta a ser analisada é a de Beetz, Leeuwen e Vries (2009) que cria uma camada de significado sobrescrevendo o IFC. Em seu artigo, demonstraram os benefícios de transformar o IFC numa ontologia. Nesta mesma linha, propostas mais gerais, de se transformar modelos de produtos em EXPRESS para *Web Ontology Language* (OWL), também foram consideradas por outros pesquisadores (SCHEVERS; DROGEMULLER, 2005; ZHAO; LIU, 2008; BARBAU et al., 2012).

Por ser um trabalho contemporâneo à especificação dos MVDs por parte da buildingSMART, numa época em que a preocupação era grande por trabalhar-se um modelo grande e complexo como o IFC, a aplicação proposta de Beetz, Leeuwen e Vries (2009) é a de justamente criar, por meio de buscas realizadas na ontologia, subconjuntos do esquema IFC.

Uma ontologia é formada por um conjunto de conceitos formalizados numa linguagem lógica, como por exemplo, cálculo de predicados (CHANDRASEKARAN; JOSEPHSON; BENJAMINS, 1999), que estabelece como as sentenças envolvendo os conceitos podem ser construídas, e como novas sentenças podem ser deduzidas quando é considerado todo o conhecimento representado. Os conceitos podem apresentar estruturas internas diferentes entre si, e a própria ontologia costuma ser representada por uma hierarquia, o que permite a existência de um mecanismo de classificação para os seus elementos.

A dedução de novas sentenças está relacionada à transformação de um conhecimento implícito em explícito. A manipulação destas sentenças e a realização de processos de decisão podem ser feitas por ferramentas computacionais gerais, que atuam sobre as lógicas subjacentes, encontradas no mercado, dando assim acesso a diversas funcionalidades sem um custo de desenvolvimento extra.

Esta é uma das grandes vantagens em se trabalhar com ontologias. Do contrário, estas funcionalidades só poderiam ser obtidas por meio de implementação específica por parte das grandes empresas de software.

Mais especificamente, Beetz, Leeuwen e Vries (2009) propõem transformar os elementos do IFC numa ontologia definida em OWL, que tem como base as lógicas de descrição (BAADER et al., 2003). As lógicas de descrição (DL) formam um grupo de lógicas onde existe um compromisso entre a sua expressividade (coisas que se consegue representar com ela) e se ela é decidível, ou seja, o quanto é possível deduzir de suas asserções sem incorrer em cálculos infinitos.

Uma DL é formada por uma TBox, um conjunto de sentenças (conceitos e papéis) que formam uma terminologia e que representa a ontologia ou o conhecimento sobre o mundo, e uma ABox, que é povoada com instanciações ou asserções que são feitas com base nos conceitos. A terminologia diz o que existe em termos abstratos e as asserções são a concretização destes termos.

Numa lógica de descrição, cada sentença forma um grupo de indivíduos ou entidades que respeitam certas restrições. Além dos conceitos, cada lógica de descrição é diferenciada pelos construtores que podem ser aplicados para formar sentenças, e daí a possível variação na expressividade e no fato da lógica ser ou não ser decidível. A lógica de descrição empregada por Beetz, Leeuwen e Vries (2009) é a *SHIQ(D)* (HORROCKS; PATEL-SCHNEIDER; VAN HARMELEN, 2003).

MAPEAMENTO DO IFC EM OWL

Como o EXPRESS e o OWL são linguagens distintas, é necessário determinar como cada elemento de uma será transformado em elemento da outra. Algumas transformações são diretas; em outras, por poderem ser feitas de mais de uma maneira, implicando benefícios de um lado e limitações de outro, é necessário analisar e escolher com cuidado cada transformação.

Dentre os elementos presentes no IFC, foram propostas traduções para:

- Entity:

São as próprias entidades do modelo, com um conjunto de atributos e restrições próprios. Aqui a tradução é direta: para cada ENTITY deve ser criada uma owl:Class in OWL, representado um conceito na TBox. Na ontologia, é necessário classificar posteriormente estes conceitos num eixo que determina quais conceitos são mais gerais e quais são mais específicos. As relações SUBTYPEOF e SUPERTYPEOF, presentes no IFC, são transformadas em relações rdfs:subClassOf. O que não é possível mapear diretamente é

As elipses representam agrupamentos necessários para isolar partes do modelo em espaços distintos, permitindo assim uma maior eficiência para buscas e inferências na ontologia.

Na Figura 2, as elipses estão representando conjuntos de conceitos presentes na TBox e as setas ou arcos representam a hierarquia entre os conceitos. Os conceitos representados na Figura 2 correspondem às camadas de domínio, interoperabilidade, recursos, e central do IFC2x3, que agrupam todas as demais entidades presentes no IFC. Por exemplo, o esquema Domínio:Arquitetura relaciona-se com a camada de interoperabilidade por meio da SharedBuildingElement, e das camadas núcleo Extensão do Produto (ProductExtension) e Kernel e, finalmente, com a camada de recursos por meio da *Representation Resources*.

A abordagem adotada é o agrupamento tanto da TBox quanto da ABox segundo fronteiras semânticas definidas num arquivo de mapeamento ou determinada por um uso individual específico, com a ajuda de uma ferramenta computacional. Este objetivo pode ser alcançado dentro da OWL, pois seus níveis inferiores são o XML e o RDF², onde os recursos podem estar em localidades diferentes. Um problema com esta abordagem é que para se referenciar em OWL entidades de agrupamentos diferentes é necessário importar todo o conteúdo e não apenas as entidades desejadas, o que vai de encontro à iniciativa da separação.

Os agrupamentos podem ser realizados de diversas formas diferentes. Se particionar a TBox em vários espaços já traz benefícios, sendo que ela é composta por centenas ou milhares de afirmações, com uma ABox o ganho pode ser ainda maior já que ela pode ser composta facilmente por milhões de afirmações. Foram discutidas quatro maneiras de fazer esta partição:

- *oAoT* – uma ABox e uma Tbox: tanto as definições de conceitos quanto suas asserções estão numa mesma partição, dentro de um *namespace* único;
- *oAnT* – uma ABox e n Tboxes: as definições de conceitos residem em *namespaces* e recursos diferentes. Aqui há pouca necessidade para lidar com ambiguidade na nomenclatura;
- *nAoT* – n ABoxes e uma Tbox: dividir as asserções em várias partições, como por exemplo deixar de fora a informação irrelevante e, portanto, as deduções só considerarão as informações requeridas;
- *nAnT* – n Aboxes e n Tboxes: é a solução com maior grau de liberdade, mas que exige um gerenciamento melhor.

Os autores trabalharam com o agrupamento *nAnT*, e conseguiram implementar, por meio de buscas na ontologia, maneiras diferentes de se particionar o modelo.

Um exemplo prático é a extração da informação mínima para um sistema de apoio a tomadas de decisão que necessite do valor de transmitância térmica de todas as janelas do projeto de uma edificação. A Figura 3 representa o grafo desta informação, que foi extraído automaticamente da ontologia apresentada inicialmente.

CONCEITOS (IFC-MVD) COMO SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DA INTEROPERABILIDADE

Venugopal et al. (2012) apresentam uma solução alternativa para o problema da interoperabilidade com o IFC, partindo do princípio de que é necessário criar uma camada de significado acima do próprio IFC, entre ele

² *Extensible Markup Language* (XML) e *Resource Description Framework* (RDF) são modelos de meta-dados para descrição de conceitos ou modelagem da informação implementada em recursos na rede.

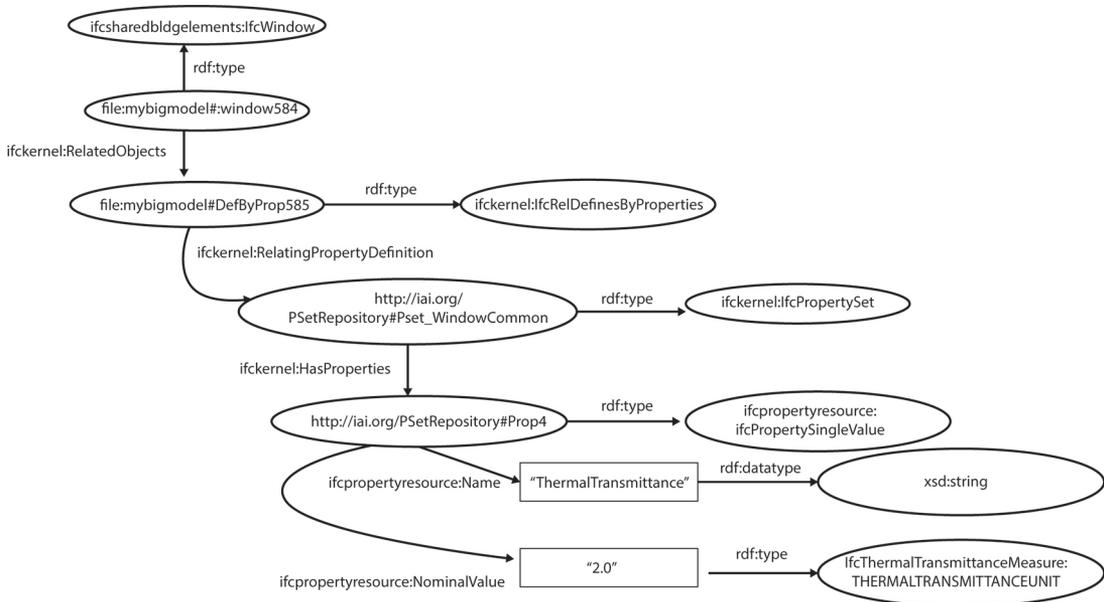


Figura 3. Parte da ontologia extraída. Fonte: (BEETZ; LEEUWEN; VRIES, 2009).

e o processo de criação dos MVDs. Assim, é quando da determinação de quais partes do modelo são relevantes em trocas de informações específicas que se deve introduzir um significado ou um rigor na definição de como cada entidade do IFC envolvida deve ser implementada.

O artigo de Venugopal et al. (2012) concentra-se nas fases 2 (estruturação em um conjunto de módulos de informação dos requisitos de troca identificados no IDM) e 3 (implementação das vistas do modelo pelas companhias de software) da criação de uma MVD segundo o NBIMS, ilustrando como devem ser construídos o IDM e como devem ser implementadas as entidades do IFC no MVD. A ideia é criar módulos ou como os autores denominam Conceitos (*Concepts*), que possam ser combinados formando diferentes conjuntos para cada troca específica. A experiência retratada neste trabalho advém de consultoria realizada para a indústria de pré-moldados para fachadas (SACKS et al., 2010).

Com o objetivo de formalizar como estes Conceitos deveriam ser criados, os autores analisam as possíveis maneiras de impor uma estrutura nas entidades envolvidas nas trocas de informações entre diferentes disciplinas. Assim, tem-se um amplo espectro de soluções:

- De um lado, um modelo de troca poderia conter apenas a geometria sólida básica e dados do material acerca do edifício. As rotinas de **exportação** neste nível são simples e as trocas genéricas. Para este caso, para qualquer uso além de uma verificação de interferência entre as geometrias modeladas, o software que **importar** o modelo precisará interpretar a geometria e associar um significado usando representações dos objetos recebidos em termos de seus próprios objetos nativos.
- No outro extremo, um arquivo de troca semanticamente rico pode ser estruturado para representar agregações de partes de um mesmo tipo ou hierarquias que definem intenção, agrupamentos de aquisições, métodos de produção etc. Assim, com base em bibliotecas de perfis, peças de catálogo, acabamentos de superfície, e materiais que transportam semântica, o software de **importação** pode gerar objetos nativos no seu próprio esquema com esforço mínimo, comparando a estrutura recebida com as pré-definidas, e não necessita da geometria explícita ou

outros dados em todas as trocas de informação. A rotina de exportação neste nível deve ser cuidadosamente customizada para cada caso, já que a informação deve ser estruturada para que seja adequada para as aplicações importarem.

Os autores listam quatro peças-chave do processo, no sentido de prover esta camada de significado por meio da estruturação das entidades e de uma hierarquia entre as mesmas.

ATRIBUIÇÕES DE TIPOS E HERANÇA

O IFC impõe um sistema fraco de tipos, permitindo representações polimórficas (referências a classes abstratas, quando implementadas, podem representar diferentes classes concretas, desde que ambas derivem da abstrata), mas restringindo-se à herança singular. Até a implementação da entidade *IfcElementAssemblyType* no IFC4, não havia a possibilidade de criação de arranjos de arranjos no nível do tipo.

O emprego de um sistema forte de tipos permite a imposição de restrições e consequentemente força a correção das entidades e permite a classificação dos objetos segundo um esquema de modelagem definido.

Três abordagens são possíveis:

- Toda informação no modelo de troca é dada explicitamente;
- Estabelecer uma estrutura hierárquica que é desenhada para atender às necessidades de uma troca particular entre duas ferramentas de software específicas;
- Utilização de herança múltipla.

SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

Sistemas de classificação são uma alternativa para estruturar os dados nos arquivos de troca, mas no IFC esta classificação não é dada claramente.

GEOMETRIA

Existem diversas maneiras de se especificar a geometria de objetos tridimensionais. A escolha adequada está relacionada ao uso que se fará dela. Formas mais abstratas são necessárias para certos tipos de simulação enquanto formas mais detalhadas e precisas são essenciais para a fabricação de peças. Algumas destas formas de representação da geometria são: representação por fronteiras (B-rep), extrusões, CSG (Geometria Construtiva Sólida) e ainda, no IFC4, NURBS.

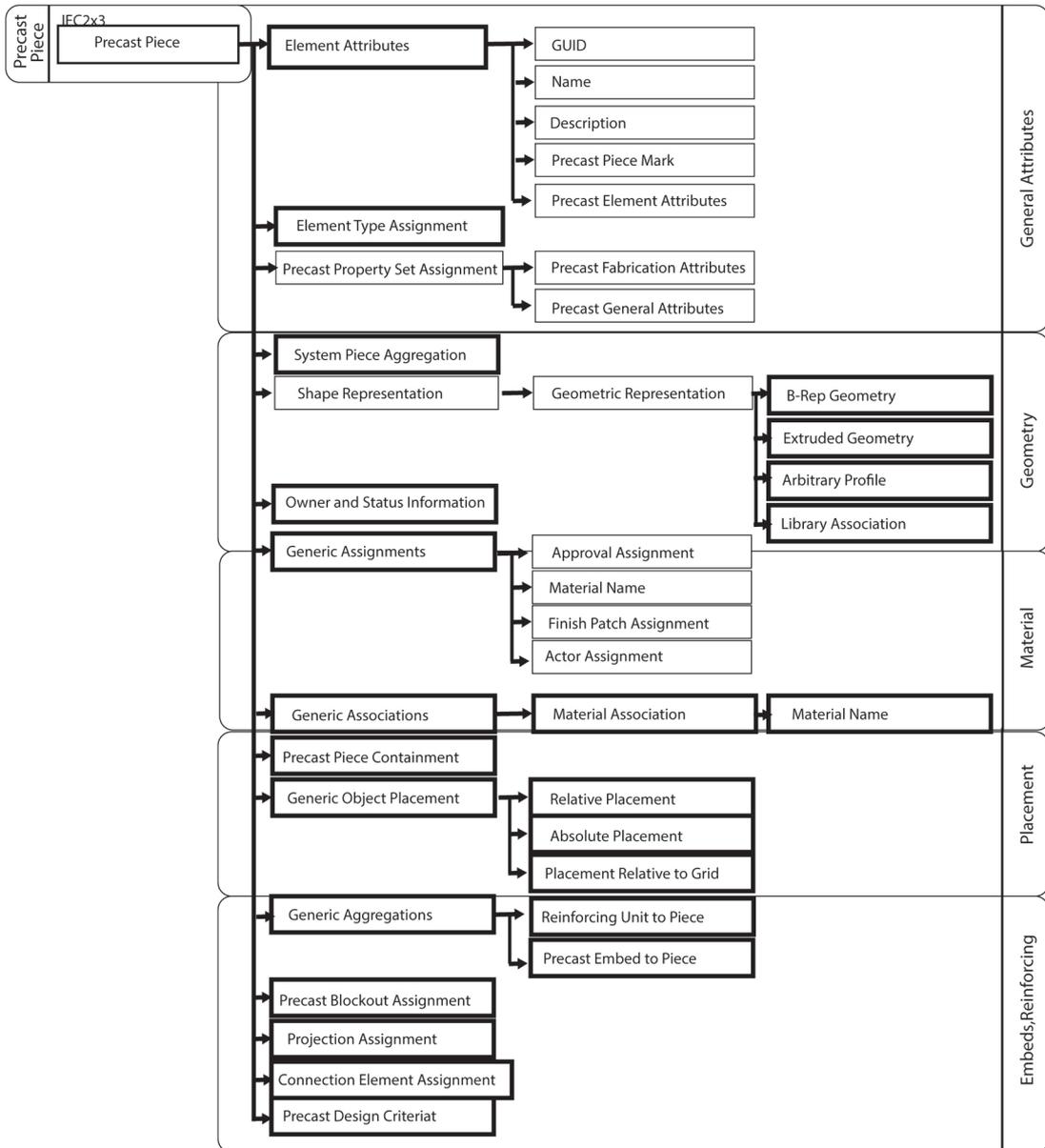
RELAÇÕES E REGRAS

O *schema* IFC não determina o comportamento de suas entidades dentro das aplicações, não aplica restrições paramétricas ou conserta um comportamento. Isto é deixado para a lógica interna de cada aplicação, conforme explícito na definição da relação *IfcRelAggregates*: “O comportamento imposto pela relação de dependência deve ser estabelecido dentro das aplicações” (buildingSMART, 2013). Desta maneira, aplicações diferentes podem considerar comportamentos distintos para as relações e atrapalhar a interoperabilidade no que diz respeito à modelagem dos objetos.

Apesar da importância das relações no IFC, tais como *IfcRelAggregates* e *IfcRelDefines* (existem 48 relações nas especificações do IFC4), para uma atribuição de semântica existe uma falta de detalhamento de como utilizá-las corretamente, causando um emprego errôneo das mesmas.

Da mesma maneira, a condição de elementos inseridos dentro de outros também não é determinada como, por exemplo, quando o volume do objeto inserido deve ser subtraído do volume do elemento que o contém.

A Figura 4 mostra uma vista do modelo IFC, onde constam as entidades relevantes e necessárias para a troca de informações entre o projetista e o fabricante da peça de concreto.



ANÁLISE DO PROBLEMA

Parece que existe um consenso na identificação dos pontos frágeis do esquema IFC que impedem atualmente o aproveitamento de todo o potencial da interoperabilidade propagandeado com a adoção do BIM. No entanto, as soluções para este problema não são únicas, e é difícil determinar se uma determinada solução é mais adequada para todas as possíveis utilizações do modelo.

Beetz, Leeuwen e Vries (2009) alteram o IFC para transformá-lo em ontologia, e com isso ganhar automaticamente diversas funcionalidades,

Figura 4. Um exemplo de vista do modelo de uma peça de concreto pré-fabricada. Fonte: (VENUGOPAL et al., 2012).

dentre elas a capacidade de particionar um modelo extenso e complexo como o usado no BIM para atender às necessidades específicas dos usuários por apenas uma parcela dos elementos representados. Esta função principal apresentada no artigo para a ontologia acabou por ser resolvida com a criação das MVDs, o que não inviabiliza ou diminui a importância do trabalho realizado por eles. Muitas funcionalidades que podem ser adquiridas com a adoção do BIM, como maior automação em diferentes processos, poderiam ser obtidas segundo a metodologia apresentada. Em tese, não há como ter um processo automático a partir de modelos de dados heterogêneos sem que exista uma ontologia que integre ou mapeie uns nos outros. O maior desafio é encontrar a linguagem adequada, que possua a capacidade de representar todos os detalhes necessários do contexto em questão, e ainda seja capaz de ser útil em tarefas de recuperação de informação, integração, participação, e assim por diante. A linguagem apresentada no artigo não consegue capturar toda a riqueza do IFC, mas é útil para extrair informações dele.

Já Venugopal et al. (2012) atuam diretamente no processo de especificação das MVDs, propondo uma camada adicional de Conceitos, onde estariam formalizadas partes das trocas diretamente em IFC, de um jeito único, quando o subconjunto em questão está bem definido por todos os atores do processo. Por trabalhar em acordo com a direção escolhida pela própria buildingSMART, e assim do mercado da construção civil, parece que os desenvolvimentos futuros serão tomados nesta direção. O grande limitante é que não existe ainda uma solução apropriada para a criação destes Conceitos que compostos formariam os MVDs: o artigo apenas discute a ideia e propõe uma forma para criar e organizá-los, dando o exemplo para estruturas de concreto pré-fabricadas. Seria interessante ver como os Conceitos criados para este tipo de troca poderão ser úteis em outras trocas.

A Tabela 1 sistematiza a comparação das duas abordagens.

Assim, ambas as soluções, no fundo, atuam sobre as mesmas lacunas presentes no esquema IFC e constataam que o problema da interoperabilidade deve ser resolvido com a introdução de um rigor maior na especificação das entidades modeladas. Este rigor está relacionado à construção de uma ontologia, cuja função é melhor explorada em sua potencialidade pelo primeiro trabalho.

Com o lançamento da sua versão mais recente (em 12 de março de 2013), os desenvolvedores do IFC4 procuraram integrar as especificações do IFC com outros desenvolvimentos da própria buildingSMART, como ifcXML

Tabela 1. Comparação entre as abordagens analisadas neste artigo.

Características	Beez, Leeuwen e Vries (2009)	Venugopal et al. (2012)
IFC	Transforma o IFC em IfcOWL	Mantém o IFC
MVD	A função do MVD pode ser obtida pelo IfcOWL	Propõe uma metodologia de criação de Conceitos que ligam o IFC ao MVD
Tamanho do IFC	Usando o IfcOWL pode-se particionar o modelo	O modelo é particionado pelos Conceitos, que combinados formam os MVDs
Redundância do IFC	Em teoria, desaparecem com a criação do IfcOWL	Usa as definições do MVD (via Conceitos)
Ponto negativo	Não representa com fidelidade todo o IFC	Depende da definição manual de todas as trocas possíveis
Ponto positivo	É capaz de extrair informação do modelo, ou seja, fazer inferências	Sistematiza e agiliza a criação e organização de MVDs

Fonte: Elaborado pelos autores.

simples, a nova metodologia mvdXML, o dicionário de dados (os *property sets* e as *property definitions* estão incluídas no bsDD - antes conhecido como IFD), e o desenvolvimento do ifcDoc. Mas o cerne da questão de falta de interoperabilidade não foi completamente tratado.

É preciso observar na prática, conforme esta nova versão for sendo implementada e utilizada pelos profissionais da construção, se as mudanças, mesmo que indiretamente, auxiliam os usuários no sentido de guiá-los na direção de acordos sobre como se representar determinadas entidades.

CONCLUSÕES

Foram apresentados dois exemplos do uso de ontologias como uma alternativa para resolver o problema da falta de interoperabilidade adequada no fluxo de trabalho proposto no BIM. O uso de ontologias neste contexto altera a forma de se trocar a informação presente nos modelos (exportação e importação) entre os softwares envolvidos em projetos que usam o BIM. Dentro do espectro de soluções possíveis que usam ontologias, os exemplos apresentados encontram-se em extremos opostos.

De um lado, pode-se alterar o próprio IFC, de maneira a completá-lo pela tradução para uma representação mais rigorosa, um formalismo lógico (ou lógica de descrição) e desta maneira beneficiar-se com a utilização das ferramentas existentes que manipulam e extraem conhecimento a partir de deduções e inferências lógicas, e manipulação de representação de conhecimento (*knowledge representation*).

Por outro lado, já que tem se tornado parte do fluxo de trabalho com o BIM que toda troca de informação deve ser realizada por meio dos MVDs, pode-se trabalhar com o IFC e um conjunto de Conceitos, representando partes específicas destas trocas. A criação destes Conceitos e a posterior combinação e reutilização dos mesmos, podem dar flexibilidade e riqueza na representação dos modelos.

O problema da interoperabilidade com o IFC parece estar longe de uma solução definitiva. A solução proposta no primeiro artigo seria a mais apropriada do ponto de vista teórico e computacional, mas existem problemas reais em termos de se combinar uma representação expressiva e completa do IFC e ainda assim ser capaz de automaticamente extrair e manipular a informação presente num modelo tão grande. A solução proposta no segundo artigo parece caminhar mais na direção e na metodologia que tem sido comum na área da construção. No entanto, da forma com que o processo de criação de novos MVDs se desenvolve, não se poderá colher os benefícios a curto prazo: é um processo incremental de resolução uma a uma das trocas que tem demonstrado serem as mais importantes.

REFERÊNCIAS

- ABANDA, F.; TAH, J.; KEIVANI, R. Trends in built environment semantic Web applications: Where are we today? **Expert Systems with Applications**, v. 40, p. 5563-5577, 2013.
- AKSAMIJA, A.; GOBLER, F. Architectural ontology: Development of machine-readable representations for building design drivers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2007, Pittsburgh. **Proceedings...** Reston: American Society of Civil Engineers, 2007. p. 168-175. 2007. [http://dx.doi.org/10.1061/40937\(261\)21](http://dx.doi.org/10.1061/40937(261)21)
- BAADER, F. et al. **The description logic handbook: Theory, Implementation and Applications**. New York: Cambridge University Press, 2003.
- BARBAU, R. et al. OntoSTEP: Enriching product model data using ontologies. **Computer-Aided Design**, v. 44, n. 6, p. 575-590, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cad.2012.01.008>.

- BEETZ, J. et al. **Towards an open Building Information Model server**. Technical Report, 2010.
- BEETZ, J.; LEEUWEN, J. V.; VRIES, B. IfcOWL: A case of transforming EXPRESS schemas into ontologies. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 23, n. 1, p. 89-101, 2009. <http://dx.doi.org/10.1017/S0890060409000122>.
- buildingSMART. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/index.htm>>. Acesso em: 04/02/2013.
- CHANDRASEKARAN, B.; JOSEPHSON, J.; BENJAMINS, V. What are ontologies, and why do we need them? **IEEE Intelligent Systems and their Applications**, v. 14, n. 1, p. 20-26, 1999. <http://dx.doi.org/10.1109/5254.747902>
- CHENG, J.; TRIVEDI, P.; LAW, K. Ontology mapping between PSL and XML-based standards for project scheduling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCURRENT ENGINEERING IN CONSTRUCTION, 3., 2002, **Proceedings** ...
- CRUZ, C.; MARZANI, F.; BOOCHS, F. Ontology-driven 3D reconstruction of architectural objects. **Computer Vision Theory and Applications**, p. 47-54, 2007.
- EASTMAN, C. et al. **BIM handbook – A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- EL-MEKAWY, M.; ÖSTMAN, A. Semantic mapping: an ontology engineering method for integrating building models in IFC and CityGML. In: ISDE DIGITAL EARTH SUMMIT, 3., 2010. **Proceedings** ...
- HAN, J.; JEONG, Y.-K.; LEE, I. Efficient building energy management system based on ontology, inference rules, and simulation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT BUILDING AND MANAGEMENT, 2011, **Proceedings** ... p. 295-299.
- HORROCKS, I.; PATEL-SCHNEIDER, P. F.; VAN HARMELEN, F. From SHIQ and RDF to OWL: the making of a Web Ontology Language. **Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web**, v. 1, n. 1, p. 7-26, 2003. <http://dx.doi.org/10.1016/j.websem.2003.07.001>.
- KIM, H.; GROBLER, F. Design coordination in Building Information Modeling (BIM) using ontological consistency checking. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2009, Austin. **Proceedings...** Reston: American Society of Civil Engineers, 2009. p. 410-420, 2009.
- LIMA, C.; EL-DIRABY, T.; STEPHENS, J. Ontology-based optimization of knowledge management in e-construction. **ITCon**, v. 10, p. 305-327, 2005.
- NBIM-US. National BIM Standard-US. Disponível em: <http://www.nationalbimstandard.org/>. Acesso em: 04/02/2013
- SACKS, R. et al. The Rosewood experiment – Building information modeling and interoperability for architectural precast facades. **Automation in Construction**, v. 19, p. 419-432, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.012>.
- SCHEVERS, H.; DROGEMULLER, R. Converting industry foundation classes to the Web Ontology language. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SEMANTICS, KNOWLEDGE AND GRID, 1., 2005, **Proceedings** ... p. 27-29.
- SCHEVERS, H. et al. Towards digital facility modeling for Sydney Opera House using IFC and Semantic Web technology. **ITCon**, v. 12, p. 347-362, 2007.
- VENUGOPAL, M. et al. Semantics of model views for information exchanges using industry foundation class schema. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 2, p. 411-428, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2012.01.005>.
- VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs. **Automation in Construction**, v. 38, p. 109-127, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- YOUNG, N. et al. **The business value of BIM: getting Building Information Modeling to the bottom line**. New York: McGraw-Hill Construction, 2009. (Technical Report).
- ZHAO, W.; LIU, J. K. OWL/SWRL representation methodology for EXPRESS-driven product information model: Part I. Implementation methodology. **Computers in Industry**, v. 59, p. 580-589, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2008.02.002>

Correspondência

Fabiano Rogerio Correa, fabiano.correa@usp.br
Eduardo Toledo Santos, etoledo@usp.br