

Ontologia BIM. Alguns Aspectos do Conhecimento Projetual: o Prédio, as IFC e as OST.

José Luis Menegotto¹

¹ Escola Politécnica da UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil
jlmenegotto@poli.ufrj.br

Abstract. This article reports on the methodology for creating an ontology constructor application (API). The API writes the ontology in OWL (Ontology Web Language). To implement the system, two elements were used: 1) a set of Excel spreadsheets that contain the hierarchical and logical structure of classes, object properties, data properties, and instances for testing purposes. These elements will define the ontological axiomatics within a well-defined BIM domain; and 2) a mechanism for processing the spreadsheets, programmed in Dynamo with DesignScript language. The mechanism reads the content of the spreadsheet and writes it in OWL format using the Manchester syntax. The work is introduced remembering some key concepts present in research carried out in this field of computer science during the 80s and 90s. The use of ontologies aims the integration of BIM data and Semantic Web, to operate digital construction environments within the Open Linked Data paradigm.

Keywords: BIM ontology, Open Linked Data, Semantic Web, DesignScript, ABNT.

1 Introdução

A difusão recente de sistemas de Inteligência Artificial generativa como ChatGPT ou Midjourney, tem renovado as especulações sobre a proximidade do momento da *Singularidade Tecnológica*, tal como Vernon Vinge visionava no início da década de 90. Ele imaginou um momento de inflexão em que a humanidade entraria em franco processo de expansão da inteligência para uma superinteligência. De acordo com Vinge, a Singularidade seria um destino irreversível, que aconteceria graças os desenvolvimentos em Inteligência Artificial ou ao desenvolvimento das redes de Inteligência Amplificada (Vinge, 1993). A coincidência cronológica das visões de Vinge com o lançamento midiático dos recentes sistemas generativos atualizam o debate. Como contraponto, Landgrebe e Barry Smith (2023) apresentam argumentos contrários à *Teoria da Singularidade* e à Era da inteligência pós-humana. Eles

apontam que a confiança no surgimento de uma Inteligência Artificial Geral é excessiva e que o surgimento de um salto tecnológico como a Singularidade seria impossível (2023, 3). Ambos entendem a inteligência como um produto emergente do funcionamento de um sistema complexo, observando que a velocidade de banda requerida para a comunicação eficaz de uma superinteligência teria que superar os obstáculos da realidade física. Além desses dois fatores, apontam a falta de modelos matemáticos que possibilitem a modelagem de sistemas de Inteligência Artificial Geral. Os argumentos são significativos, pois partem de reconhecidos pesquisadores dentro desse campo disciplinar. As pesquisas de Smith, junto com Pierre Grenon, resultaram numa ontologia de alto nível denominada BFO (*Basic Formal Ontology*), presente no complexo ontológico OBO *Open Bio-Ontology*, amplamente adotado no domínio das ciências biológicas. Seja como for, a Inteligência Artificial impacta de maneira profunda o modo de conhecer e pensar o processo projetual.

Neste trabalho entende-se que o ato de projetar é um ato de conhecimento e, portanto, um ato cognitivo humano que expressa processos considerados inteligentes e que podem ser artificialmente auxiliados. Parte-se da suposição que projetistas conhecem os motivos e os aspectos relevantes que levaram à formalização do objeto projetado, sendo eles capazes de transmitir esses motivos de modo oral, textual ou gráfico, por meio de explicações que transitam por diversos níveis de tecnicidade. Destaca-se também que esses conhecimentos permanecerão implícitos no corpo do objeto construído ou projetado. Assim, considera-se que seja necessário incorporar modos de expressar em linguagem formal e computacional os conhecimentos humanos incorporados ao objeto projetual, preservando-os e integrando-os aos processos tradicionais de transmissão de conhecimentos. Considera-se, portanto, que explicitar a teoria do objeto projetado, com o intuito de orientar outros agentes (humanos e algorítmicos) sobre como tirar proveito dos aspectos essenciais daquilo que foi pensado e cristalizado em forma de objeto construído, seja uma necessidade tecnológica para os sistemas atuais. As ontologias são peças-chaves para realizar este processo, mas ainda são recursos pouco explorados no campo do projeto e da construção. Ontologias extensíveis para complementar modelos de dados BIM vêm sendo estudadas com maior atenção em anos recentes. Além de permitirem enriquecer a semântica dos projetos (AL-HAKAM *et al*, 2020), também permitem incorporar meios para mecanizar operações de raciocínio lógico nas aplicações, tornando-as mais eficientes para auxiliar projetistas. Destacam-se alguns trabalhos: BOT (*Building Topology Ontology*) que propõe uma axiomática para BIM (RASMUNSEN *et al*, 2017); o projeto BROT (*Bridge Topology Ontology*) baseado em BOT, mas orientado para projetos de infraestrutura urbana; o projeto *Brick*, que propõe ordenamentos semânticos para sensores e dispositivos IoT nas edificações; o projeto SAREF (*Smart REFERENCE Ontology*) (POVEDA-VILLALÓN *et al*, 2018) e, a iniciativa do projeto ifcOWL para incorporar a camada ontológica faltante ao IFC (*Industry Foundation Classes*) da organização *BuildingSmart* (BONDUEL *et al*, 2018). As

linguagens utilizadas em aplicações de projeto computacional, como DesignScript, são reconhecidas por permitirem evoluir o fluxo de pensamento dos projetistas durante o processo de concepção (AISH, 2013). Mas elas não são preparadas para expressar o conhecimento factual do objeto projetado. Essa função pode ser assumida por linguagens que permitam a formalização ontológica, com o qual se expande o campo do pensamento implicitamente incorporado ao projeto no momento da concepção, pois expande-se a possibilidade de expressar, lógica e computacionalmente, determinações factuais do objeto. Como a formalização de ontologias extensíveis é uma atividade que tem origem na ciência da computação, persiste certa dificuldade para engajar projetistas no processo de modelagem de bases de conhecimento orientadas ao BIM sustentadas por axiomática ontológica. De modo geral, os projetistas recebem os esquemas de informação prontos e se adaptam a eles. Eles conhecem os objetos projetuais, conhecem os comandos de aplicações CAD ou BIM, conhecem modos de automatizar processos, mas têm dificuldade para tornar explícitos os conhecimentos acumulados durante os diversos estágios de concepção e modelagem, pois montar um sistema ontológico sobre o projeto não é um processo trivial (BUS *et al*, 2018). A tarefa implica realizar uma reflexão contínua que leve até o conhecimento factual das coisas. Construir uma ontologia significa teorizar não apenas sobre como se projeta, senão também sobre como orientar as ferramentas de trabalho (sistemas informáticos) para que possam processar as camadas implícitas de conhecimentos, que vão sendo construídas durante o ato projetual e incorporadas ao modelo digital. Portanto, há aspectos epistemológicos e práticos envolvidos na tarefa. Uma das lições aprendidas pelos autores do projeto SAREF, declara que a extração sistemática e consistente dos dados de um modelo fica dificultada se na equipe de projeto não houver especialistas do domínio (POVEDA-VILLALÓN *et al*, 2018). A essa observação, pode-se acrescentar que antes dos dados serem sistematicamente extraídos, eles precisam ser sistematicamente inseridos. Em outras palavras, construir ontologias orientadas para a fase de concepção do projeto poderia não somente facilitar as operações posteriores de extração de informações, senão também ajudar a materializar uma descrição ontogenética de cada projeto singular, que acompanhará o prédio durante todo o seu ciclo de vida. O trabalho apresentado a seguir, relata os fundamentos de uma aplicação que está sendo desenvolvida para facilitar a construção de ontologias por parte de projetistas.

2 Metodologia

A modelagem de ontologias é uma das vertentes de desenvolvimento no campo da Inteligência Artificial, que persegue a produção de aplicações com raciocínio formal incorporado, dentro da tradição de Inteligência Artificial

simbólica ou *top-down*, inspirada no paradigma da teoria do *General Problem Solver* de Newell e Simon. Deve-se a Gruber a definição clássica para as ontologias. Ele as define como “*uma especificação explícita de uma conceitualização*” (Gruber, 1993). Ele acrescenta que, formalmente, uma ontologia é a “*declaração de uma teoria lógica*”. Em termos práticos, esclarece que ontologias compartilhadas entre agentes devem definir o vocabulário necessário para que estes possam realizar tarefas de inteligência geral a partir de interações em interfaces do tipo “*tell and ask*”, ou seja, interfaces de afirmações e consultas sobre os objetos (GRUBER, 1995). Gruber utiliza esses termos citando o trabalho de Levesque, que na década de 80 abordou o problema da representação lógica do conhecimento desde uma perspectiva funcional. Levesque (1984) sugere que operações primitivas para formar aplicações complexas baseadas em bases de conhecimento (*Knowledge Base*) passam por dois estágios: o primeiro seria a aquisição do conhecimento e, o segundo, o aumento do conhecimento. Embora se limitasse a duas primitivas operacionais (aceder e aumentar), esclarece que outras operações de conhecimento poderiam ser tratadas, como “esquecer ou assumir”. Esquematiza os estágios do seguinte modo:

Acéder ao conhecimento: Ask: Knowledge X Query → Answer.

Aumentar o conhecimento: Tell: Knowledge X Assertion → Knowledge.

Para este trabalho é importante lembrar que o termo “agente” é usado para significar tanto agentes humanos como agentes algorítmicos. Outro esclarecimento importante, baseado em Gruber, é que o uso dos conhecimentos ontologicamente formalizados, não estaria fundamentado pela sua completude, mas sim, pela sua consistência. Em outras palavras, o conhecimento adquirido pelos agentes não precisaria ser simétrico nem completo, pois cada agente poderá saber aspectos diferentes acerca do mesmo objeto (GRUBER, 1995). Resumindo, ontologias expressam em linguagem formal o conhecimento que se possui sobre os objetos. Para tal, os envolvidos na criação de ontologias devem poder definir e avaliar as entidades propostas, através de asserções explícitas sobre classes de objetos, as suas propriedades, as propriedades dos dados utilizados pelos objetos e, finalmente, pelas asserções de “fatos” concretos (*facts*) evidenciados pelos indivíduos conceitualizados (instâncias). Partindo do conjunto de asserções e fatos explícitos, os sistemas de cálculo lógico (*reasoners*) que processam ontologias podem inferir conhecimentos não declarados utilizando cálculo proposicional. O mecanismo implementado visa facilitar o desenvolvimento de módulos ontológicos em formato OWL, pensados para serem integrados em sistemas de dados abertos e conectados que interliguem sistemas e silos de informação da construção. Os módulos procuram explicitar descrições conceituais dos elementos de projetos arquitetônicos e podem ser aproveitados para ordenar e endereçar dados em ecossistemas CAD BIM durante as etapas de concepção, construção ou gerenciamento após a

construção. A definição axiomática de uma ontologia, exige transitar por diversos níveis de abstração dentro de cada domínio estudado. No domínio estrutural, podem ser utilizados conceitos estruturais já conhecidos e catalogados, como os propostos por Engel (2007), que permitem entender a estrutura de um prédio desde a perspectiva de transmissão das cargas. Por outro lado, para categorizar objetos devem ser considerados os diversos esquemas de dados concorrentes, estabelecidos de modo diferente em aplicações proprietárias como Revit ou esquemas neutros como IFC. Portanto, para construir a ontologia é necessário separar e vincular diversos domínios. Na aplicação apresentada, os arquivos OWL são escritos em notação Manchester e modularmente criados a partir de planilhas Excel gerenciadas por macros programadas em *DesignScript*. As ontologias podem ser abertas no editor *Protégé* para visualizar, gerenciar, depurar e validar a sua estruturação. Cada módulo ontológico deve corresponder a um domínio específico e possuir um prefixo que funcione de *Namespace* ou identificador URI (*Uniform Resource Identifier*), p.ex, *fofu*: significando forma e função. A chave permite integrar a ontologia dentro de fluxos de conhecimento da Web-Semântica, permitindo a incorporação vinculada de recursos informacionais RDF no paradigma de *Open Linked Data* proposto por Berners-Lee (2005) (2009).

2.1 Recomendações Fundamentais

Para implementar o mecanismo foram levadas em conta as cinco recomendações formais de Gruber (1995) e o realismo de Smith (2008). Gruber recomenda que uma ontologia seja *clara, coerente, extensível, com mínima codificação e minimamente comprometida*. Smith, por sua vez, recomenda que seja formulada dentro de uma perspectiva *Realista*. A primeira recomendação de Gruber, a *clareza*, pede que as definições conceituais das entidades sejam, no possível, necessárias e suficientes. O realismo de Smith implica que as asserções sobre as entidades sejam feitas sobre bases objetivas, ou seja, distinguindo a representação da entidade real (objeto) das representações que carreguem algum viés derivado de uma ação cognitiva humana, ou seja, de interpretações subjetivas. Esse é um desafio para as ontologias de concepção, pois a própria concepção do projeto é em si mesma uma sequência de atos cognitivos humanos. No que tange ao construtor apresentado, fez-se uma distinção entre a representação do objeto “Sala” enquanto objeto ambiente dimensionável e qualificável por propriedades, da representação da “Sala” enquanto “ambiente” subjetivamente interpretado. O mecanismo programado tentou facilitar o esforço conceitual, permitindo a rápida reconfiguração das classes, propriedades e relacionamentos pensados para construir os conceitos axiomáticos, além de expressar cada conceito em linguagem natural. Na versão atual do mecanismo limitou-se a expressão dos termos ao idioma português, utilizando o axioma “*Annotations*”, em cada linha da planilha e para cada nível da árvore de classes. O segundo aspecto, a

coerência, diz respeito ao vínculo entre a descrição formal e as descrições informais que podem ser feitas em linguagem natural. Elas não podem ser contraditórias. As cores escolhidas para as células da planilha, visam facilitar a visualização global do campo ontológico, auxiliando a visualizar possíveis sobreposições de conceitos contraditórios. As cores usadas são as mesmas utilizadas pelo programa *Protégé*, criado na Universidade de Stanford e amplamente utilizado para a criação de ontologias: cor amarela para classes; azul para propriedades de objetos; verde para propriedades dos dados; magenta para os indivíduos instanciados; e, ocre para as anotações. A terceira recomendação, a *extensibilidade*, significa que a definição de um novo conceito possa ser herdeiro “*monotônico*” de conceitos anteriores. Gruber usa a expressão para indicar que os membros menores devem estar englobados em conjuntos de igual gênero ou natureza, permitindo que conceitos possam crescer sem afetar a estruturação da árvore ontológica do vocabulário previamente definido. O ordenamento das células B C D da tabela 5, segue esta recomendação. Essa condição diminuiria esforços de adaptação ou redefinição das terminologias propostas. A quarta recomendação pede utilizar um *viés mínimo de codificação*. A escolha da sintaxe Manchester (HORRIDGE *et al*, 2004), cuja escrita é quase em linguagem natural, se fundamenta nela. Manchester utiliza uma mínima quantidade de caracteres especiais (símbolos) se comparada a outras sintaxes utilizadas para o mesmo fim, como *Turtle*, *XML* ou *JSON*. Embaixo, um exemplo de classe com anotações e asserções de equivalências escrita em Manchester.

```
Class: fofu:Ambiente
SubClassOf: fofu:Programa
Annotations: rdfs:label "fofu:Ambiente"@pt
Annotations: rdfs:comment "Programa de Necessidades"@pt
EquivalentTo: fofu:OST_Rooms or fofu:ifcSpace
```

Como resultado o aplicativo gera um arquivo OWL, legível por algoritmos e de fácil leitura por parte de um agente humano. Os arquivos OWL podem ser importados em *Protégé* para verificar a sua coerência formal. Finalmente, para conseguir um *comprometimento ontológico mínimo*, procura-se conceitualizar objetos do modo mais simples possível. Essa tarefa está no cerne da conceitualização de objetos projetuais que cabe aos ontologistas realizarem. Relacionada com a clareza e o realismo, constitui o grande desafio epistemológico do projeto. Importante salientar que as recomendações de Gruber e Smith, originam-se nos campos disciplinares das ciências cognitivas e da computação que, visando incorporar mecanismos de raciocínio em sistemas computacionais, concebem linguagens que permitem realizar operações de lógica matemática ou de primeira ordem, cuja matéria-prima é composta por um indeterminado número de premissas (asserções e fatos) e um conjunto limitado de operações lógicas.

3 Resultados

O algoritmo construtor processa seis planilhas de um arquivo Excel, contendo a descrição dos aspectos do domínio formalizado. O código fonte, as planilhas e os arquivos OWL resultantes podem ser consultados e baixados para testes em: <https://github.com/JLMenegotto/OntologiaBIM>

3.1 Anotações Gerais do Projeto

Em duas colunas são declarados os aspectos gerais de um projeto: endereço, tipo de construção e posicionamento geográfico são algumas anotações possíveis. Na primeira coluna declara-se o nome do parâmetro e na seguinte o seu valor. Como cada arquivo Excel serve a um domínio específico, a primeira linha deve definir o *Namespace* da ontologia. O *Namespace* é fundamental, pois permite a incorporação modular da ontologia em ambientes que utilizam recursos RDF dentro do paradigma de Dados Abertos e Conectados proposto por Berners-Lee (2009), para formar a rede de recursos informacionais vinculados na Web Semântica. As anotações dos dados podem ser ampliadas à medida que a equipe adquire conhecimento do projeto.

Tabela 1. Anotações de propriedades gerais do projeto

Chave	Valor
PrefixoOntologia	fofu:
TemaOntologia	ambientes
Prédio	Edificio_A
Longitude	23.3040043
Latitude	42.3040043

Fonte: o autor, 2023

3.2 Mapa Semântico de Equivalências entre Modelos de Dados

Um mapa semântico declara as equivalências entre diversos modelos de dados concorrentes. Por exemplo, entre as categorias IFC e as categorias OST de Revit.

Tabela 2. Mapa semântico de equivalências entre modelos de dados

A	B	C	D	E...
1	ifcFooting	OST_Structural Foundation	OST_Abutment Foundations	null
2	ifcFurniture	OST_Furniture	OST_Furniture Systems	OST_FoodService Equipment
3	ifcGeographic Element	OST_Project BasePoint	OST_Coordinate System	OST_Shared BasePoint

Fonte: o autor, 2023

Na coluna B são listadas todas as categorias de um determinado esquema de dados e as dez colunas seguintes (C-L) usadas para expandir equivalências com categorias de outros modelos de igual gênero. Sugere-se que a primeira equivalência seja a mais próxima ou direta. Como modelos de dados costumam ter ambiguidades ou vazios semânticos, os ontologistas podem complementar cada linha com equivalências menos fortes caso haja necessidade (como *OST_FoodService* no exemplo da tabela).

3.3 Classes, Asserções de Equivalência e Anotações

Na planilha é declarada a estrutura hierárquica de Classes. As cinco primeiras colunas definem uma árvore desde a raiz (SuperClasse 1 na coluna B) subindo por quatro níveis: SuperClasse2 → SuperClasse3 → SuperClasse4 → Classe (Tabela 3). A SuperClasse 1 é raiz da árvore genealógica da Classe definida na coluna F. A partir da coluna G, são reservadas quatro colunas para declarar asserções sobre relacionamentos entre as Classes, ordenadas em pares correspondentes (C+4, D+4...). Por exemplo, a SuperClasse2 da coluna C, terá suas asserções declaradas na coluna G. As anotações para cada Classe seguem a mesma lógica nas colunas L-O (C, C+9).

Tabela 3. Classes e asserções de equivalências

A	B	C	D	E	F	G	H...
1	Super Class1	Super Class2	Super Class3	Super Class4	Classe 5	EquivTo: Classe2	EquivTo: Classe3
2	Edifício	Programa	Ambiente	deGuarda	Depósito	fofu:tem_logradouroNome some fofu:Edifício	fofu:OST_Rooms or fofu:ifcSpace
3	Edifício	Programa	Ambiente	deTransição	Hall	fofu:tem_logradouroNumero some fofu:Edifício	null
...L				M	N	O	
Annotations Classe 2				Annotations Classe 3	Annotations Classe 4	Annotations Classe 5	
Programa de Necessidade funcional				Programa funcional	Ambientes necessários ao funcionamento predial	Ambiente de depósito	
Programa de Necessidade funcional				Programa funcional	Ambientes necessários ao funcionamento predial	Halls do prédio	

Fonte: o autor, 2023

Ontologias são modularmente integradas e relacionadas dentro de um complexo ontológico no qual cada uma define objetos específicos de um domínio com determinado nível de generalidade. A BFO (*Basic Formal Ontology*), proposta por Smith (2008), é uma ontologia compacta e de alto nível de generalidade, que serve de raiz para entidades de outras ontologias. Foi detectado que as ontologias que estão sendo criadas no domínio do BIM para

a construção civil, não estão relacionadas à BFO. Por uma questão de interoperabilidade, acredita-se que seja recomendável tentar integrar a BFO como a base de ontologias de domínios relacionados ao projeto arquitetônico. Caso o ontologista opte por derivar a ontologia usando como raiz de generalização a BFO, deve reservar a SuperClasse1 para referenciar a que natureza de classe a entidade corresponde nesse domínio (*Continuant* para objetos espaciais ou *Occurrent* para eventos temporais).

3.4 Classes Disjuntas

Definem-se disjunções de classes (Tabela 4). A Classe *PXYZ* é tratada como disjunta da Classe *PGEO*, pois apesar de serem classes de posicionamento, têm propriedades diferenciadas: posição cartesiana XYZ e posição geográfica Lat-Long, com ordenamentos invertidos de coordenadas (Latitude = Y e Longitude = X e diferenças de precisão numérica (o milímetro na 3° casa decimal em sistema métrico e na 8° casa decimal em sistema de coordenada geográfica). Analogamente, categorias IFC e OST são declaradas disjuntas, pois os modelos de dados Revit e IFC não são congruentes.

Tabela 4. Classes disjuntas

A	B	C	D	E
1	Disjuntas 1	Disjuntas 2	Disjuntas 3	Disjuntas 4
2	CategoriasRevit	CategoriasIFC	null	null
3	PXYZ	PGEO	null	null

Fonte: o autor, 2023

3.5 Classes, Propriedades, Características, Domínios, Faixas e Anotações

Propriedades dos dados são definidas nas colunas B-C; os objetos e suas características ontológicas (*Functional* - *Inverse Functional*, *Transitive*, *Symmetric* - *Antisymmetric*, *Reflexive* - *Irreflexive* e *Inverse of*) nas colunas D-H; os domínios e faixas de aplicação das Classes nas colunas I-M; as unidades na coluna N e as anotações terminológicas na coluna O (Tabela 6).

Tabela 5. Classes, propriedades, características, domínios, faixas e anotações

A	B	C	D	E	F	G	H...
	Super Prop	Data Property	Object Property	Carac 1	Carac 2	Carac 3	Inversa de
44	ambientes	função	função	null	null	null	null
45	função	articulador	ser_articulador	Functional	null	null	ser_articulado
46	função	articulado	ser_articulado	Functional	null	null	ser_articulador
47	função	conectado	ser_conectado	Symmetric	null	null	null
48	função	adjacente	ser_adjacente	Symmetric	null	null	null

I	J	K	L	M	N	O
Dom1	Dom2	Dom3	Fx1	Fx2	valRange	Annotations
null	null	null	null	null	null	Articulação espaço funcional dos ambientes 1 = true, 0 = false
Ambiente	null	null	null	null	xsd:boolean	O ambiente é articulador espacial de outros ambientes
Ambiente	null	null	null	null	xsd:boolean	O ambiente é subordinado à articulação de outro ambiente
Ambiente	null	null	null	null	xsd:boolean	O ambiente está conectado a outro ambiente
Ambiente	null	null	null	null	xsd:boolean	O ambiente é adjacente a outro ambiente

Fonte: o autor, 2023

3.6 Indivíduos instanciados

A planilha representa a separação de conceitos e indivíduos, ou seja, do tipo conceitual abstrato das suas instâncias factuais concretas. É utilizada para testar a coerência das Classes conceituais. Destaca-se que as planilhas 2, 3, 4 e 5 representam conceitos abstratos e as planilhas 1 e 6 contêm dados factuais. A extração é realizada por aplicação específica que faz a leitura dos parâmetros ingressados ao modelo BIM do projeto e os distribui de acordo aos conceitos ontológicos planejados.

Tabela 6. Indivíduos instanciados

A	B	C	D	E	F	G
1	Individuo	Classe	Facts: 1a	Facts: 1b	Facts: 1c	Facts: 1d
2	Sala01	Gabinete	tem_codigo	codigo	"GB01"	null
3	Sala01	Gabinete	tem_nome	nome	"Gabinete"	null
4	Sala01	Gabinete	tem_larguramin	larguramin	2.50	null
5	Sala01	Gabinete	tem_largura	largura	2.65	null
6	Sala01	Gabinete	tem_profundmin	profundmin	5.00	null

Fonte: o autor, 2023

4 Discussão

A formulação da axiomática ontológica deve ser aberta e permitir um crescimento contínuo e ordenado de conhecimentos ao longo do processo projetual. Considera-se que a descrição factual de um edifício singular será construída pela sucessiva adição de conhecimentos que, somente poderá atingir graus de completude ao longo do processo. As asserções iniciais sobre o projeto podem ter origem em conhecimentos já sedimentados em domínios disciplinares específicos. Sugere-se que Normas Técnicas possam ser uma dessas fontes de conhecimentos originárias. O processo heurístico de

inferência e descoberta de novos conhecimentos sobre instâncias particulares projetadas seria orientado por essas ontologias, que poderão ser reformuladas e aumentadas por novas, que nascerão em paralelo aos projetos. O objetivo perseguido com o mecanismo construtor é que ele permita formular e alterar, de modo ordenado, os sistemas de regras e de axiomas declarados para um projeto. O acoplamento com outras ontologias sedimentadas ajudaria a orientar o processo projetual integrando a intencionalidade humana com mecanismos algorítmicos de raciocínio.

Foi assumido que o conhecimento ontológico de um objeto será sempre incompleto, mas expansível. Também foi dito que as descrições ontológicas devem permitir a revisão sistemática de conhecimentos estabelecidos e ser integradas e endereçáveis como recursos RDF nos ambientes da Web Semântica. Este é um passo que no campo da construção ainda é incipiente, se comparado com o campo da biologia. Para que o complexo tecnológico BIM continue evoluindo, seria recomendável que as publicações atuais dos diversos sistemas normativos, que são bases de conhecimento, comecem a ser traduzidas para formato OWL e disponibilizadas de modo irrestrito. As Normas Técnicas expressam o conhecimento industrial acumulado ao longo dos anos, mas ainda o fazem de modo textual, em arquivos pouco estruturados ou em silos de dados fechados. Portanto, parece lógico sustentar que ontologias em OWL de cada domínio técnico devam ser desenvolvidas e publicadas abertamente pelas organizações normativas, como a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ou o *Instituto Argentino de Normalización y Certificación* (IRAM) na Argentina. Ontologias de produtos publicadas pelos fabricantes, que conhecem os seus produtos e processos, complementariam as tradicionais bibliotecas de componentes. Códigos de Prefeituras e Corpo de Bombeiros poderiam ser ontologias em formato OWL, modificando o fluxo de validação e aprovação de projetos num processo aberto e contínuo.

Pode-se duvidar, junto com Landgrebe e Smith, da *Singularidade* e da Inteligência Ampliada que visionários como Vernon Vinge antecipavam. Entretanto, é mais difícil colocar em dúvida que a ampliação das fronteiras do conhecimento humano seja um fato consumado. O ato humano cognitivo de projetar, a cada dia mais interpenetrado por processos digitais e algorítmicos, pode-se beneficiar de ontologias que ampliem possibilidades de integração consciente dos fluxos de conhecimento produzidos pela inteligência projetual.

References

- Al-Hakam, H., & Scherer, R. J. (2020) Integration of BIM-related bridge information in an ontological knowledgebase. Conference: LDAC 2020 - 8th Linked Data in Architecture and Construction Workshop.
- Aish, R. (2013) First Build Your Tools. In: Inside SmartGeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design. London: Wiley. pp. 36-49

- Beetz, J., Leeuwen, J. V., Vries, B. (2009) IfcOWL: A case of transforming EXPRESS schemas into ontologies. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. v. 23, n. 1, p. 89-101, DOI: <https://doi.org/10.1017/S0890060409000122>
- Berners-Lee, T. Linked Data (2009) Retrieved Jul 20, 2023, from <https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>
- Berners-Lee, T, Fielding, R. & Masinter, L. (2005) RFC 3986: Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax. IETF Internet Engineering Task Force, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3986.txt>
- Bonduel, M., Oraskari, J., Pauwels, P., Vergauwen, M.; Klein, R. (2018) The IFC to Linked Building Data Converter-Current Status. In: *Linked Data in Architecture and Construction Workshop 6*. London. Proceedings [...]. London: CEUR-WS, 2018. v. 2159. p. 34-43. Retrieved May 25, 2019, from <http://ceur-ws.org/Vol-2159/>
- Bus, N., Roxin, A., Picinbono, G., Fahad, M. (2018) Towards French Smart Building Code: Compliance Checking Based on Semantic Rules Nicolas. *Proceedings of the 6th Linked Data in Architecture and Construction Workshop*. London, UK.
- Engel, H., Rapson, R. (2007) *Tragsysteme*. Hatje Cantz Verlag.
- Fioravanti, A; Trento, A (2019). "Close Future: Co-Design Assistant How Proactive design paradigm can help". In: *Proceedings of 37 eCAADe and XXIII SIGraDi Joint Conference, "Architecture in the Age of the 4Th Industrial Revolution"*. Sousa, José Pedro; Henriques, Gonçalo Castro; Xavier, João Pedro (Eds.). São Paulo: Blucher. p.155-162. DOI: 10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019_516
- Gruber T. R. (1995) Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International Journal of Human-Computer Studies*, v.43 p.907-928, DOI: <https://doi.org/10.1006/ijhc.1995.1081>
- Horridge, M., Knublauch, H., Rector, A., Stevens, R., Wroe, C. (2004) *A Practical Guide to building OWL ontologies using the Protégé-OWL plugin and CO-ODE Tools*. Edition 1.0. The University of Manchester.
- Landgrebe, J., Smith, B. (2023) *Why Machines Will Never Rule the World*. Artificial Intelligence without Fear. New York. Routledge.
- Levesque, H. J. (1984) Foundations of a functional approach to knowledge representation. *Artificial Intelligence*, v. 23, p. 155-212.
- Poveda-Villalón, M., Garcia-Castro, R. (2018) Extending the SAREF ontology for building devices and topology. *Proceedings of the 6th Linked Data in Architecture and Construction Workshop*. London: LDAC.
- Rasmunssen, M. H., Hviid, C.A., Karlshøj, J. (2017) Web-based topology queries on a BIM model. In: *Linked Data in Architecture and Construction Workshop, 5*, Dijon. Proceedings [...]. Dijon: LDAC.
- Smith, B. (2008) New desiderata for biomedical terminologies. in K. Munn and B. Smith (eds.), *Applied Ontology: An Introduction*, Frankfurt/Lancaster: Ontos, p. 83-109.
- Vinge, V. (1993) "The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era. In *Vision-21: Interdisciplinary Science and Engineering in the Era of Cyberspace*, G. A. Landis, ed., NASA Publication CP-10129, p.11-22.