


ONTOLOGIA BIM DA TAXONOMIA SUSTENTÁVEL BRASILEIRA
BIM ONTOLOGY FOR THE BRAZILIAN SUSTAINABLE TAXONOMY
ONTOLOGIA BIM DE LA TAXONOMIA SOSTENIBLE BRASILEÑA

 <https://doi.org/10.56238/arev8n3-151>

Data de submissão: 01/03/2026

Data de publicação: 30/03/2026

José Luis Menegotto

Doutor em Arquitetura e Urbanismo

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

E-mail: jlmenegotto@poli.ufrj.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4205576885019501>

Orcid: 0000-0003-4872-2574

RESUMO

O artigo discute o uso de ontologias em ambientes de projeto CAD-BIM. É proposta uma ontologia para a Taxonomia Sustentável Brasileira. Se discutem algumas limitações técnicas das publicações normativas realizadas em arquivos PDF. Se defende a necessidade atual de descrever conteúdos normativos em formato de ontologias OWL/TTL e a sua publicação como dados abertos e vinculados dentro do paradigma proposto por Tim Bernes-Lee (2009) para a web semântica. Se observa que a web semântica é ainda uma tecnologia pouco explorada em ambientes de projeto digital. Se sustenta que o seu uso permitiria criar sistemas de validação de projetos de arquitetura em tempo real. Se apresenta o projeto OntologiaBIM e a Taxonomia Sustentável Brasileira (TSB) como exemplos de formalização ontológica aplicada à economia verde e ao BIM. Argumenta-se a favor da criação de uma infraestrutura cognitiva aberta e interconectada, baseada nos conceitos de Dados Abertos e Conectados associados à IA neuro-simbólica (Franz, 2025), integrando princípios de Malhas de Dados (Dehghani, 2023) e Projeto Direcionado a Domínios (Evans, 2010).

Palavras-chave: Web Semântica. Taxonomia Sustentável Brasileira. Ontologias. OWL. TTL.

ABSTRACT

The article discusses the use of ontologies in CAD-BIM design environments. An ontology is proposed for the Brazilian Sustainable Taxonomy. Some technical limitations of normative publications issued in PDF files are discussed. The current need to describe normative content in OWL/TTL ontology format and to publish it as open and linked data within the paradigm proposed by Tim Berners-Lee (2009) for the semantic web is defended. It is observed that the semantic web is still a technology little explored in digital design environments. It is argued that its use would allow the creation of real-time validation systems for architectural projects. The OntologiaBIM project and the Brazilian Sustainable Taxonomy (BST) are presented as examples of ontological formalization applied to the green economy and BIM. The article argues in favor of creating an open and interconnected cognitive infrastructure, based on the concepts of Open and Linked Data associated with neuro-symbolic AI (Franz, 2025), integrating principles of Data Mesh (Dehghani, 2023) and Domain Driven Design (Evans, 2010).

Keywords: Web Semântica. Taxonomia Sustentável Brasileira. Ontologias. OWL. TTL.

RESUMEN

El artículo discute el uso de ontologías en entornos de diseño CAD-BIM. Se propone una ontología para la Taxonomía Sostenible Brasileña. Se analizan algunas limitaciones técnicas de las publicaciones normativas realizadas en archivos PDF. Se defiende la necesidad actual de describir contenidos normativos en formato de ontologías OWL/TTL y su publicación en la web semántica como datos abiertos y vinculados dentro del paradigma propuesto por Tim Berners-Lee (2009). Se observa que la web semántica es todavía una tecnología poco explorada en entornos BIM de proyecto digital. Se sostiene que su uso permitiría crear sistemas de validación de proyectos de arquitectura en tiempo real. Se presentan al proyecto OntologiaBIM usado para formalizar una ontología de la Taxonomía Sostenible Brasileña (TSB), que es aplicada dentro del ámbito de la economía verde. Se argumenta a favor de la creación de una infraestructura cognitiva abierta e interconectada, basada en los conceptos de Datos Abiertos y Conectados asociados a la IA neuro-simbólica (Franz, 2025), integrando principios de Tramas de Datos (Dehghani, 2023) y Proyectos Direccionados a Dominios (Evans, 2010).

Palabras clave: Web Semântica. Taxonomia Sustentável Brasileira. Ontologias. OWL. TTL.

1 INTRODUÇÃO

Processos digitalizados para a concepção, construção e gerenciamento de edificações promovem novas formas de trabalho e oportunidades para a inovação. Participar destes processos exige ampliar continuamente a comunicação de conhecimentos e modificar procedimentos estabelecidos. Um tema que tem preocupado projetistas que utilizam aplicações CAD-BIM, é o fato de ainda terem de trabalhar com Normas Técnicas publicadas em arquivos PDF. Embora o formato seja amplamente utilizado para a publicação de material técnico, ele não é adequado para vincular os fluxos de conhecimentos produzidos durante o projeto aos dados e conhecimentos que as Normas, Códigos e Regulamentações entesouram. Os fluxos de trabalho digitalizados ficam presos a estes gargalos informacionais que, em geral, exigem a programação especializada para permitir a interação entre as informações incorporadas aos modelos BIM e as informações fornecidas nos arquivos PDF das normas. Ao invés de precisar programar macros que permitam realizar a leitura e extração dos dados, se sustenta que seria mais proveitoso ter os conteúdos normativos publicados em forma de axiomática ontológica. A questão é relevante se pensarmos nas possibilidades de integração de agentes de IA associados aos processos de licenciamento de projetos. Secretarias Municipais e Prefeituras, poderiam transformar os processos em fluxos contínuos de verificação de projetos, numa espécie de análise permanente de dados espaciais e funcionais exigidos. No entanto, para que isso ocorra, as exigências e requisitos deveriam ser formalmente declarados e expressos computacionalmente. Ou seja, as NBR assim como os regulamentos e códigos de obra, deveriam ser legíveis e interpretáveis tanto por agentes humanos como por agentes algorítmicos. Eis onde as ontologias de domínio, modularmente concebidas, podem ingressar e auxiliar aos processos de projetos CAD-BIM. É possível imaginar cenários nos quais projetistas não precisem emitir desenhos, realizar *uploads* de complexos modelos BIM ou nem sequer utilizar *templates* específicos para criar os modelos em conformidade com alguma normativa ou padrão. Auxiliadas por ontologias, as aplicações computacionais podem ajudar a realizar a validação analítica de diversos requisitos exigidos pelas Normas. Outro problema que poderia ser melhorado nesses fluxos é o que se relaciona com a interoperabilidade dos programas. Como as ontologias são computacionalmente agnósticas de sistemas e formatos, elas permitiriam integrar diversos modelos de dados numa mesma base de conhecimentos, mantendo inclusive uma representação paralela para mais de um formato. No link compartilhado pode ser consultada a aplicação que está sendo desenvolvida para facilitar o processo de criação de ontologias no ambiente de projeto BIM do Revit 2024.

<https://github.com/JLMenegotto/OntologiaBIM/tree/main/Versão5>

Ela ajuda a criar ontologias escritas em sintaxes Manchester e Turtle, a partir de um conjunto de declarações previamente estruturadas em planilhas Excel. As ontologias formatadas em Excel buscam integrar aspectos gerais dos projetos com os objetos de Revit, as classes de IFC e com as diversas Normas como a NBR 15.965 acerca da Classificação de Objetos da Construção em BIM. O projeto OntologiaBIM parte da hipótese de que as tecnologias CAD-BIM-GIS somente poderão ser totalmente integradas quando o conhecimento projetual, - acumulado ao longo dos anos -, for expresso e ordenado em redes de dados abertos e conectados, segundo conceitualizou Tim Berners-Lee (2009). O conceito de web semântica implica montar uma infraestrutura digital de conhecimentos compartilhados na Internet. Se Normas Técnicas expressam o conhecimento industrial, elas podem ser estruturadas em ontologias de domínio específico e disponibilizadas de modo aberto, ao invés de ficarem armazenadas em silos de dados fechados. Assim, o conhecimento publicado dessa forma, retornaria às suas fontes, beneficiando toda a corrente logística de dados, informações e conhecimentos necessários para projetar e gerenciar ativos construídos. Pensamos que seja altamente recomendável investir no desenvolvimento de ontologias OWL/TTL e na configuração de essa infraestrutura semântica que possibilite a publicação e a descoberta dos pontos nodais da rede, na qual as ontologias devem ser mantidas ao longo do tempo. Essa rede poderia estar composta por nodos distribuídos pelas organizações normativas como a ABNT, que entesouram conhecimentos da indústria; por fabricantes que publiquem seus catálogos de produtos, pois são eles que conhecem a fundo seus produtos e processos; por prefeituras que publicam códigos de edificações e regulamentos que ordenam as vocações morfológicas de cada cidade; por cada novo projeto construído que traz consigo novos conhecimentos e, logicamente, por cada projeto existente, pois eles carregam em si mesmos conhecimentos fácticos latentes.

A publicação de determinações axiomáticas ordenadas, criaria condições para permitir que as aplicações possam ser integradas a fluxos de verificação e validação de projetos realizados de modo contínuo e permanente ao longo de todo o processo do ato projetual, superando o paradigma de técnicas estáticas sustentadas por *templates* e Planos de execução BIM. Se o conhecimento normativo fosse transferido para estruturas de informação formalizadas em axiomáticas abertas, os caminhos para iniciar processos de interação e integração começariam a aparecer em paralelo ao desenvolvimento de novas aplicações, cada vez mais integradoras de conhecimentos e com maior riqueza e agregação semântica. O construtor ontológico programado pretende contribuir com esta ideia, tentando facilitar o trabalho de formalização para arquitetos e engenheiros. O conceito de dados cinco estrelas, como Tim Berners-Lee o concebera em décadas passadas, é ainda um assunto pendente

nos processos de projeto CAD-BIM mas oferece uma direção de pesquisa e desenvolvimento de sistemas.

2 A TAXONOMIA SUSTENTÁVEL BRASILEIRA

A Taxonomia Sustentável Brasileira (TSB) é um dos instrumentos para o Plano de Transformação Ecológica (PTE) do Governo Federal. É uma iniciativa que tem por objetivo promover uma mudança nos paradigmas econômicos, tecnológicos e culturais em prol do desenvolvimento do país. O foco principal da taxonomia está posto sobre fatores que podem influir na sustentabilidade da natureza e seus biomas, além de cuidar dos fatores sociais, como a geração e distribuição de riqueza de modo justo e compartilhado, visando a melhoria na qualidade de vida das gerações presentes e futuras (Ministério da Fazenda, 2023). O PTE está estruturado em seis eixos, sendo a TSB parte do eixo das Finanças Sustentáveis (Brasil, 2023a). A TSB consiste em um sistema de classificação que define, de maneira nítida, objetiva e com base científica, atividades, ativos e/ou categorias de projetos que contribuem substancialmente para objetivos climáticos, ambientais e/ou sociais, por meio de critérios específicos baseados na ciência (Brasil, 2023a). A Taxonomia Sustentável Brasileira é um sistema integrado à Classificação Nacional de Atividades Econômicas do IBGE. Determina critérios objetivos para selecionar projetos públicos e privados financiáveis que contribuam positivamente para a agenda da Economia Verde. O instrumento, composto por 15 cadernos distribuídos por setores econômicos, foi criado pelo Comitê Interinstitucional da Taxonomia Sustentável Brasileira (CITSB) do Governo Federal. Pretende que seja uma ferramenta de auxílio para realizar uma transição ordenada de descarbonização de atividades econômicas, além de orientar ações necessárias para a geração de ambientes de trabalho responsáveis, com parâmetros alinhados à justiça social. A versão final da taxonomia foi publicada pelo Ministério da Fazenda no segundo semestre de 2025.

A TSB foi escolhida como objeto a ser formalizado em uma ontologia OWL/TTL extensível, capaz de servir como base de conhecimento para sistemas de agentes de IA de projeto que automatizam e organizam processos BIM. Com esse objetivo a ontologia está sendo criada traduzindo todo o conteúdo dos cadernos da TSB, atualmente em formato PDF, para descrições ontológicas em OWL e TTL. Foi criada uma hierarquia de classes, indivíduos, propriedades de objetos e dados relacionados em triples RDF, procurando transferir e respeitar 100% do seu conteúdo textual. O resultado oferece uma nova camada de informação que deve ser considerada em projetos de arquitetura que desejem aderir aos critérios da TSB. O conteúdo pode ser incorporado como semântica complementar às fases iniciais de projetos de construção que pretendam alinhar-se aos princípios de descarbonização e justiça social. Para projetistas de arquitetura e engenharia, as atividades e condições

de contribuição à Economia Verde encontram-se principalmente nos setores tratados nos Cadernos D, F e E. Para enriquecer as informações dos seus catálogos os fornecedores de componentes e materiais, podem encontrar material no Caderno C. Os planejadores urbanos podem consultar condições estabelecidas pela TSB no Caderno H. Esses limites, no entanto, são flexíveis, pois as atividades econômicas transitam por todos os setores. Ainda será formalizado o setor A que corresponde às atividades relacionadas com Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura. A primeira versão da ontologia TSB pode ser baixada do repositório de ontologias e aberta no Protégé para análise e verificação. Ela está sendo desenvolvida visando que os desenvolvedores BIM possam integrar os novos agentes de IA aos conteúdos e critérios de alinhamento de sustentabilidade proposto pela Taxonomia. No entanto, é necessário esclarecer que a ontologia não constitui um produto oficial, ela está sendo produzida em fase inicial de pesquisa, sendo atualmente utilizada no âmbito acadêmico. A versão oficial da taxonomia são os cadernos PDF publicados no site do Ministério da Fazenda. Os conteúdos axiomáticos da ontologia estão em constante evolução, sendo revisados e atualizados com frequência. Pretende-se ainda estabelecer as conexões das Atividades Econômicas da TSB com outros sistemas de classificação, como as Normas ABNT 15.965. As propriedades de objetos e dados utilizadas são integradas ao modelo de organização empregado na formalização das demais ontologias armazenadas no repositório. Segue o link para os arquivos OWL e TTL, que possuem o mesmo conteúdo, mas em sintaxes diferentes.

<https://github.com/JLMenegotto/OntologiaBIM/tree/main/Versão5/TASB>

O exercício acadêmico visa o enriquecimento semântico permanente de modelos e processos BIM, possibilitando a integração da documentação da TSB como conhecimento factual disponibilizado que sirva como dado concreto para os novos agentes de IA, contribuindo a reduzir eventuais alucinações. As atividades económicas dos Setores da TSB e os princípios de sustentabilidade aplicados ao projeto de arquitetura e engenharia tem pontos de contato. Além dos princípios, diretrizes e salvaguardas gerais, são principalmente incorporadas as atividades económicas (AECO) relativas ao setor F (Construção Civil) e as que se referem à diversos aspectos presentes em projetos de infraestrutura. À medida que a TSB evolua, a ontologia também evoluirá.

2.1 VÍNCULOS ENTRE INDIVÍDUOS DA TSB, OBJETOS BIM E SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

Os diversos critérios de alinhamento com os princípios da Taxonomia podem ser vinculados indistintamente às categorias de Revit, às classes IFC ou aos códigos de classificação da NBR 15.965, por meio dos indivíduos definidos como tipos da Classe ‘*Sistema.Estudado*’. Essa classe foi

especialmente definida para permitir vincular os conceitos da taxonomia TSB aos elementos de um modelo BIM produzido em Revit, traduzido ao IFC ou associado aos diferentes itens do sistema de classificação da construção. Por exemplo, o indivíduo declarado como a instância de um Sistema de ar-condicionado fica factualmente vinculado às condições determinadas na TSB por declarações do tipo *Facts* que vinculem a uma propriedade de objeto denominada *é.qualificada.com* aos critérios de qualificação declarados para as atividades econômicas. Por sua vez, tais critérios, devem ser declarados como Indivíduos representando a outras instâncias. Neste caso, pelos seguintes critérios de qualificação definidos na TSB:

- Critério.de.Qualif.F01.A.a
- Critério.de.Qualif.F01.A.b
- Critério.de.Qualif.F03.B
- Critério.de.Qualif.F03.D

Seguem exemplos de indivíduos declarados de um sistema de ar-condicionado, com os fatos que relacionam a classe IFC, as categorias de Revit afines e os indivíduos relativos à TSB que tem algum vínculo,

Individual: bim:Sistemas.Climatização

Types: bim:Sistema.Estudado

Facts: bim:é.pertencente.a bim:Taxonomia.TSB

Facts: bim:categoria.revit "[OST_DuctSystem]"

Facts: bim:classe.ifc "[IfcDistributionSystemAIRCONDITIONING ,
IfcDistributionSystemCHILLEDWATER , IfcDistributionSystemCOMPRESSED AIR ,
IfcDistributionSystemCONDENSERWATER , IfcDistributionSystemEXHAUST ,
IfcDistributionSystemHEATING , IfcDistributionSystemREFRIGERATION ,
IfcDistributionSystemRETURN_CIRCUIT , IfcDistributionSystemVACUUM ,
IfcDistributionSystemVENTILATION]"

Facts: bim:descrição "Sistemas de Climatização."

Facts: bim:observação "Esta instância vincula Sistemas de Climatização com as categorias, classes e demais sistemas de classificação utilizados em ambientes de projeto BIM. Também orienta sobre os critérios de alinhamento específicos do sistema."

Facts: bim:é.qualificada.com bim:Critério.de.Qualif.F01.A.a

Facts: bim:é.qualificada.com bim:Critério.de.Qualif.F01.A.b

Facts: bim:é.qualificada.com bim:Critério.de.Qualif.F03.B

Facts: bim:é.qualificada.com bim:Critério.de.Qualif.F03.D

Individual: bim:Critério.Qualif.F01.A.a

Types: bim:Critério.Positivo

Facts: bim:é.dentro.de bim:Caderno.F

Facts: bim:é.pertencente.a bim:Setor.TSB.F

Facts: bim:é.aplicado.em bim:Objetivo.01

Facts: bim:é.dentro.de bim:Critério.Qualif.F01

Facts: bim:tema "Construção de edifícios novos"

Facts: bim:descrição "Critério necessário para que a atividade seja considerada alinhada com os objetivos"

Facts: bim:contribuição.substancial.de "Em edifícios não residenciais: 1) obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do projeto e da edificação construída, de acordo com a etapa de construção, como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), com classificação "A", geral (quando a entrega da obra for concluída com sistema de iluminação integrado e/ou sistema de climatização integrado e/ou sistema de aquecimento de água); ou 2) comprovação de demanda de energia primária anual (DEP – kWh/m²/ano) igual ou inferior à DEP calculada por meio de simulação, com base nos requisitos mínimos da versão 2016 da norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1 e conforme avaliação descrita no Apêndice G: Performance Rating Method (PRM)."

Facts: bim:é.qualificadora.de bim:Atividade.Elegível.F01

Facts: bim:é.qualificadora.de bim:Sistemas.Construtivos

Individual: bim:Critério.Qualif.F01.A.b

Types: bim:Critério.Positivo

Facts: bim:é.dentro.de bim:Caderno.F

Facts: bim:é.pertencente.a bim:Setor.TSB.F

Facts: bim:é.aplicado.em bim:Objetivo.01

Facts: bim:é.dentro.de bim:Critério.Qualif.F01

Facts: bim:tema "Construção de edifícios novos"

Facts: bim:descrição "Critério necessário para que a atividade seja considerada alinhada com os objetivos"

Facts: bim:contribuição.substancial.de "Em edifícios não residenciais destinados à venda ou locação de unidades comerciais ou de serviços, e entregues sem sistemas integrados de climatização e iluminação,: 1) obtenção da ENCE do projeto e da edificação construída, de acordo com a etapa de construção, como parte do PBE Edifica, com classificação B, parcial; ou 2) comprovação de DEP igual ou inferior à DEP calculada por meio de simulação, com base nos requisitos mínimos da versão 2016 da norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1 e conforme avaliação descrita no Apêndice G: Performance Rating Method (PRM), exceto a seção G1.2.1."

Facts: bim:é.qualificadora.de bim:Atividade.Elegível.F01

Facts: bim:é.qualificadora.de bim:Sistemas.Construtivos

Individual: bim:Critério.Qualif.F03.B

Types: bim:Critério.Positivo

Facts: bim:é.dentro.de bim:Caderno.F

Facts: bim:é.pertencente.a bim:Setor.TSB.F

Facts: bim:é.aplicado.em bim:Objetivo.01

Facts: bim:é.dentro.de bim:Critério.Qualif.F03

Facts: bim:tema "Instalação de componentes e sistemas para eficiência energética"

Facts: bim:descrição "Critério necessário para que a atividade seja considerada alinhada com os objetivos"

Facts: bim:contribuição.substancial.de "Instalação e substituição de sistemas de climatização. Deverá ser evidenciada a eficiência do sistema de acordo com os requisitos da Portaria INMETRO no 309, de 06/09/2022 (INMETRO, 2022), com comprovação de atendimento à classificação geral A de eficiência energética. Deverá ser evidenciado também o cumprimento dos requisitos do PBH, com vistas à especificação de fluidos alternativos e ao descarte adequado de HCFCs na substituição de sistemas existentes. Essa medida pode ser ampliada com estratégias para redução da demanda de resfriamento, como aproveitar o sistema de ventilação forçada para condicionar o ambiente (free cooling) quando houver condições favoráveis, tratar ou pré-resfriar o ar externo por meio de recuperadores de energia etc."

Facts: bim:é.qualificadora.de bim:Atividade.Elegível.F03

Facts: bim:é.qualificadora.de bim:Sistemas.Construtivos

Facts: bim:é.qualificadora.de bim:Sistemas.Elétricos

Nestes exemplos, alguns fatos relacionam o indivíduo com uma atividade mencionada como qualificadora, como por exemplo *bim:Atividade.Elegível.F03*. Ou seja, as relações entre indivíduos são vinculadas por meio de uma propriedade de objeto (*bim:é.qualificadora.de*) mantendo uma teia de relacionamentos entre todos os elementos da taxonomia, que devem ser explicitamente declarados como conteúdos factuais. Embaixo, seguem algumas declarações relacionadas com a atividade elegível F03. Nela se vem as diversas Atividades Económicas listadas pelo IBGE (*bim:AE.25.12.8*, etc.). As propriedades de dados *bim:ação.projetal*, *bim:fora.do.escopo*, *bim:atividade*, *bim:é.atividade.elegível* e *bim:é.qualificadora.de* são particulares do domínio da TSB, embora possam ser usadas por outras ontologias. Já as propriedades de dados *é.dentro.de*, *bim:é.pertencente.a*, *bim:é.aplicado.em*, *bim:tema*, *bim:código*, *bim:descrição* são usadas por todos os domínios do complexo de ontologias criadas com o construtor ontológico. Todas elas, tem as suas características e anotações declaradas no arquivo Excel *Ontologia_Propriedades.xlsx*.

Individual: bim:Atividade.Elegível.F03

Types: bim:Atividade

Facts: bim:é.dentro.de bim:Caderno.F

Facts: bim:é.pertencente.a bim:Setor.TSB.F

Facts: bim:é.aplicado.em bim:Objetivo.01

Facts: bim:tema "Construção"

Facts: bim:código "F3"

Facts: bim:atividade "Instalação de componentes e sistemas para eficiência energética"

Facts: bim:descrição "Esta atividade compreende medidas individuais que contribuem para a melhora do desempenho do edifício em termos de sua eficiência energética. O objetivo desta atividade é destacar a contribuição de cada medida individual para a redução no consumo de energia. Nesse sentido, não é necessário optar por mais de uma medida elegível. As medidas individuais não são cumulativas e não podem ocorrer em conjunto com as atividades F1 ou F2. Metodologicamente, as medidas iniciam com estratégias passivas de economia de energia, visando aproveitamento de recursos como ventilação e iluminação natural. Em seguida, abordam estratégias ativas, envolvendo as instalações elétricas, hidráulicas, e de climatização."

Facts: bim:ação.projeto "Medidas individuais que contribuem para a melhora do desempenho do edifício em termos de sua eficiência energética. O objetivo desta atividade é destacar a contribuição de cada medida individual para a redução no consumo de energia. Nesse sentido, não é necessário optar por mais de uma medida elegível. As medidas individuais não são cumulativas e não podem ocorrer em conjunto com as atividades F1 ou F2. Metodologicamente, as medidas iniciam com estratégias passivas de economia de energia, visando aproveitamento de recursos como ventilação e iluminação natural. Em seguida, abordam estratégias ativas, envolvendo as instalações elétricas, hidráulicas, e de climatização"

Facts: bim:fora.do.escopo "--"

Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.25.12.8

Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.41.20.4

Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.43.21.5

Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.43.22.3.01

Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.43.22.3.02

Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.43.29.1.05

Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.43.30.4.01

Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.43.30.4.02

Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.43.30.4.03

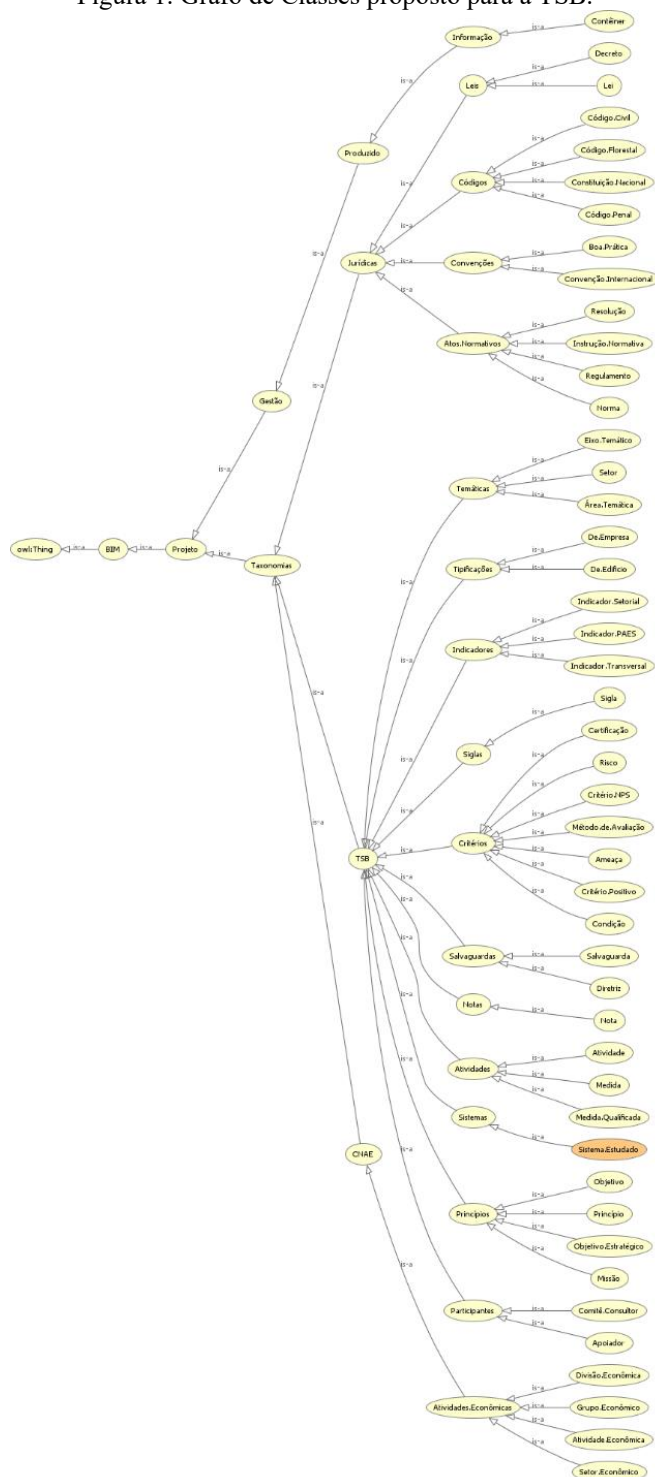
Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.43.30.4.04

Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.43.30.4.05

Facts: bim:é.atividade.elegível bim:AE.43.30.4.99

Os textos que definem os dados foram extraídos e transportados literalmente dos conteúdos dos cadernos da TSB. Na Figura 1 se pode ver o grafo de relações das classes criadas especialmente para a TSB. O Grafo foi produzido com a função OWLViz do editor Protégé.

Figura 1. Grafo de Classes proposto para a TSB.



Fonte: o autor

3 O PROBLEMA DA INFRAESTRUTURA PARA TRIPLES RDF

Hoje em dia, a incorporação de agentes de IA dentro do processo projetual poderia ser analisado desde duas perspectivas. Uma delas ve os agentes de IA desde a o ponto de vista da inteligência, ou seja, os agentes de IA são entendidos como sujeitos digitais autônomos que são

capazes de realizar tarefas de projeto como um projetista humano. Um outro modo de abordar o tema dos agentes de IA é desde a perspectiva do conhecimento. Ou seja, quais são as informações que um agente de IA precisaria manipular ou processar para que as suas ações ditas ‘inteligentes’ sejam corretas e confiáveis? Qual é a matéria-prima que um agente de IA processa? Neste artigo, pretendemos redirecionar a atenção para esta segunda forma de ver o problema da IA. Menos preocupados com as capacidades de inteligência do agente e mais preocupados com o conhecimento. As ontologias escritas em sintaxe Manchester e Turtle, permitem estruturar conhecimento de modo que tanto seres humanos como agentes computacionais possam entender e utilizar. Nesse sentido, é necessário contar com a descrição do conhecimento conceitual e factual sobre entidades ou processos envolvidos no projeto arquitetônico. Cada formalização de uma ontologia será sempre um exercício descritivo de instâncias que devem ser mantidas ao longo de um período criativo, que é caracterizado por constantes transformações. Embora os sistemas de IA generativa tenham desenvolvido capacidades impressionantes, a arquitetura de um sistema de IA mais confiável e integrador ainda é uma promessa. A literatura atual especializada discute a problemática referente às ‘alucinações’ que os agentes de IA podem retornar. Alucinações são respostas ficcionais ou respostas ilógicas que os agentes respondem. Já foi observado por pesquisas especializadas que agentes de IA, trabalhando somente com técnicas de processamento de linguagem natural vectoriais, não têm como garantir o processamento lógico (Neuhaus, 2023). Nesse sentido, o auxílio de ontologias que formem uma base de conhecimento factual, onde o conhecimento está declarado, pode reduzir a incerteza das respostas. Desde esta perspectiva ainda é necessário construir e desenvolver uma rede de infraestrutura digital totalmente integrada ao paradigma da Web Semântica, com funcionalidades cognitivas associadas que, em vez de tentar imitar a inteligência humana, ajudem a melhorar e compartilhar o conhecimento factual que temos sobre o mundo, imaginando formas de organizar e manter atualizado tal conhecimento. A inteligência talvez encontre condições favoráveis para emergir, nesse ambiente preparado para combinar as ações propostas entre nossas mentes, nossos corpos e nossas ferramentas de trabalho, que hoje inegavelmente carregam funcionalidades cognitivas e computacionais embutidas. Essa infraestrutura poderia promover interações entre contextos físicos e simbólicos, com capacidade de adaptação à multiplicidade de seres corporais e sociais.

Na comunidade social do BIM há preocupação com o open BIM e o desenvolvimento de projetos no padrão IFC. Essa preocupação é inegavelmente importante, mas podemos argumentar que também é insuficiente. O conceito de Open BIM, deveria ser estendido para o conceito de Open e Linked BIM. Ou seja, é necessário construir uma infraestrutura de conhecimentos compartilhados, que seja aberta e vinculada, por meio da qual estruturas de dados semanticamente ordenadas poderiam

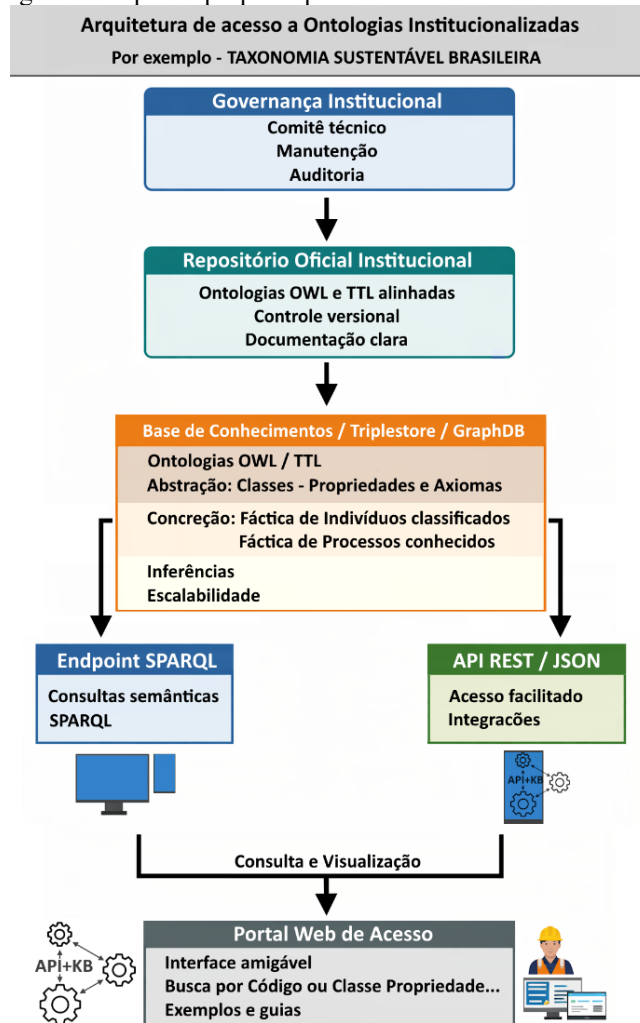
crescer de modo integrado. Por essa razão, pensar no desenvolvimento integrado do paradigma semântico da Internet, capaz de hospedar uma infraestrutura de conhecimento digitalmente formalizada, torna-se hoje em dia é uma necessidade real. Tais redes abertas ainda não existem. Embora seja tecnicamente possível que indivíduos as construam, acreditamos que montar e manter um ecossistema cognitivo democrático de conhecimento industrial, que permita uma governança controlada publicamente, é uma decisão política que deve envolver comunidades mais amplas, dispostas a assumir a responsabilidade de conceber e organizar tal infraestrutura cognitiva — aberta, compartilhada, interconectada e estável — de acordo ao paradigma proposto por Tim Berners-Lee (2009). Essa tarefa, que parece necessária a partir de agora, deve ser concebida como uma infraestrutura cognitiva capaz de crescer e de se sustentar ao longo do tempo, dado que o devir é uma realidade inerente ao ambiente arquitetônico e urbano construído. Atualmente, as ontologias declarativas com predicados de conhecimento estabelecido (Xiao et al., 2019) estão sendo integradas à arquitetura de sistemas de IA generativa modelados com técnicas conhecidas pelo acrônimo RAG (Retrieval Augmented Generation) (Zhao, 2024). Nesse campo, os desenvolvedores promoveram um processo de convergência entre a IA baseada em sistemas vetoriais de NLP usados em Large Language Models (LLMs) e a tradicional Inteligência Artificial simbólica. A IA simbólica, formalizada por meio de técnicas baseadas em ontologias, contribui para o processo fornecendo representações computacionais de conhecimento factual sobre a realidade. Assim, o uso de agentes inteligentes com maior autonomia é resumido sob o termo Agentic AI, e a convergência entre sistemas vetoriais e simbólicos é referida como IA neuro-simbólica (Franz Inc, 2025). Argumentamos que todos os processos CAD/BIM precisam se integrar com diversas tecnologias associadas, incluindo:

- Os princípios sociotécnicos de malhas de dados descentralizados, introduzidos em 2019 por Dehghani (2023).
- A abordagem de desenvolvimento de aplicações baseada nos princípios de Domain Driven Design introduzidos por Evans (2010).
- A tradicional tecnologia de Linked Data para dados abertos e conectados proposta por Berners-Lee (2009).
- As técnicas mais recentes de IA aplicadas a sistemas baseados em agentes.

Na Figura 2 é proposto um possível esquema teórico para estruturar os nodos estratégicos das malhas de dados, entre os quais poderia ser listado o organismo gerador da TSB, quem poderia incorporar as ontologias OWL e TTL com as determinações factuais da Taxonomia para uso tanto por humanos como por agentes de IA. É importante salientar que as ontologias não substituem as aplicações específicas programadas pelos escritórios de projeto. Elas servem como origem das

informações que esses programas utilizarão para realizar os processos. Elas funcionam como uma camada confiável de dados e informações adicionada aos diversos processamentos, pois estariam certificadas pelos organismos criadores.

Figura 2. Esquema proposto para um nodo da Malha de dados.



Fonte: o autor

Em um cenário ideal, uma infraestrutura de conhecimento bem projetada e organizada como uma malha de dados precisaria adotar os princípios dos dados abertos e vinculados para garantir que os dados distribuídos sejam semânticos, interoperáveis, acessíveis e endereçáveis em padrões abertos. Dentro de tal infraestrutura controlada, as ontologias podem oferecer uma garantia para um processamento lógico mais confiável, além de ser integradas em estruturas semelhantes a malhas abertas e modularizadas que permitam o crescimento ordenado de temáticas, onde cada nó poderia ser criado e mantido por um organismo responsável, que ingresse conhecimento validado nesse circuito

cognitivo. A TSB apresentada neste artigo serve como exemplo do tipo de conhecimento que enriqueceria a essa infraestrutura de rede.

REFERÊNCIAS

AASMAN, J. *The foundation of data fabrics and AI: Semantic Knowledge Graph*. Disponível em: <https://www.datasciencecentral.com/the-foundation-of-data-fabrics-and-ai-semantic-knowledge-graphs/> May, 2022. Acesso em: abril de 2025.

AL-HAKAM, H.; SCHERER, R. J. Integration of BIM-related bridge information in an ontological knowledgebase. In: LDAC 2020 – 8th Linked Data in Architecture and Construction Workshop, 2020.

BANG, Y. et al. A multitask, multilingual, multimodal evaluation of ChatGPT on reasoning, hallucination, and interactivity. ArXiv:2302.04023, 2023.

BEACH, T. H.; REZGUI, Y. Semantic encoding of construction regulations. In: 6th Linked Data in Architecture and Construction Workshop, Londres, 2018.

BERNERS-LEE, T. Linked Data. 2009. Disponível em: <https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>. Acesso em: jul. 2023.

BERNERS-LEE, T.; FIELDING, R.; MASINTER, L. RFC 3986: Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax. IETF, 2005. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3986.txt>. Acesso em: jul. 2023.

BFO. Basic Formal Ontology. 2020. Disponível em: <https://basic-formal-ontology.org>.

BIM4REN. D4.2 BIM4REN repository: software and user guide. Disponível em: <https://bim4ren.eu/download/d4-2-bim4ren-repository-software-and-user-guide/>. Acesso em: mar. 2024.

BONDUEL, M. et al. The IFC to Linked Building Data Converter – Current Status. In: 6th Linked Data in Architecture and Construction Workshop. Proceedings [...]. Londres: CEUR-WS, 2018.

BORGO, S.; GALTON, A.; KUTZ, O. Foundational ontologies in action: understanding foundational ontology through examples. *Applied Ontology*, v. 17, n. 1, p. 1–16, 2022. DOI: 10.3233/AO-220265.

BRASIL. COMITÊ INTERINSTITUCIONAL DA TAXONOMIA SUSTENTÁVEL BRASILEIRA (CITSB). Resolução CITSB nº 1, de 26 de abril de 2024. Aprova o Regimento Interno do Comitê Interinstitucional da Taxonomia Sustentável Brasileira - CITSB. Brasília, DF: 2024a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-citsb-n-1-de-26-de-abril-de-2024557725852>. Acesso em: 12 set. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DA FAZENDA (MF). Plano de Ação da Taxonomia Sustentável Brasileira. Brasília, DF: 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/orgaos/spe/taxonomia-sustentavel-brasileira/arquivos-taxonomia/taxonomia-sustentavel-brasileira-dezembro-v2.pdf>. Acesso em: 12 set. 2025.

_____. Plano de Transformação Ecológica. Brasília, DF: 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/ptbr/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/transformacao-ecologica/transformacao-ecologica>. Acesso em: 12 set. 2025.

BUS, N.; ROXIN, A.; PICINBONO, G.; FAHAD, M. Towards French Smart Building Code: compliance checking based on semantic rules. In: 6th Linked Data in Architecture and Construction Workshop. Proceedings [...]. Londres: CEUR-WS, 2018.

DEHGHANI, Z. Data Mesh: entregando valor em escala e orientado a dados. São Paulo: Novatec, 2023.

EVANS, E. Getting started with DDD when surrounded by legacy system. Domain Language, Inc. Disponível em: <https://www.domainlanguage.com/ddd/surrounded-by-legacy-software>. Acesso em: jun. 2025.

EVANS, E. Domain-Driven Design: atacando as complexidades no coração do software. Rio de Janeiro: Alta Books, 2010.

FRANZ INC. Agentic AI with AllegroGraph's Neuro-Symbolic Knowledge Graphs. White paper. Database Trends and Application, mar. 2025. Disponível em: <https://allegrograph.com/wp-content/uploads/2025/03/Powering-GenAI-Apps-with-Knowledge-Graphs-3-2025-2.pdf>.

GONZÁLEZ HERRERA, R. et al. Drones: aplicaciones en ingeniería civil y geociencias. Interciencia, v. 44, n. 6, 2019. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/339/33960068003/html> (redalyc.org in Bing). Acesso em: 12 jun. 2025.

GRUBER, T. R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. International Journal of Human-Computer Studies, v. 43, p. 907-928, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1006/ijhc.1995.1081>.

JIAO, Z. et al. A review of theory and application development of intelligent operation methods for large public buildings. Sustainability, v. 15, p. 9680, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15129680>. Acesso em: 12 dez. 2024.

MACIEL LIMA, J. P.; REIS PEREIRA, C. O princípio de não contradição: princípio ontológico, ôntico e gnosiológico do ser. Revista Opinião Filosófica, v. 15, n. 2, p. 1-13, jul./dez. 2024.

MENEGOTTO, J. L. Ontologia BIM: alguns aspectos do conhecimento projetual. XXVII International Conference of the Ibero-American Society of Digital Graphics. Anais... Centro Universitario Regional Este, Universidad de la República, 2023.

MENEGOTTO, J. L. Construtor de Ontologias BIM GIS. Versão 5.00. Disponível em: <https://github.com/JLMenegotto/OntologiaBIM/tree/main/Versão5>. Acesso em: 12 jun. 2025.

MINISTÉRIO DA FAZENDA (Brasil). *Taxonomia Sustentável Brasileira: plano de ação para consulta pública*. Brasília: Secretaria de Política Econômica, 2023. Disponível em:

<<https://www.gov.br/fazenda/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/transformacao-ecologica/transformacao-ecologica>>. Acesso em: 5 dez. 2025

NEUHAUS, F. Ontologies in the era of large language models - a perspective. *Applied Ontology*. v.18. n.4. pp.399-407. Dezembro 2023. DOI: 10.3233/AO-230072

NIKHIL, A. I wasted years confused about how LLMs learn before learning this. I wish someone had told me this when I started. Medium. <https://medium.com/me/lists>, 2024.

POVEDA-VILLALÓN, M.; GARCIA-CASTRO, R. Extending the SAREF ontology for building devices and topology. In: 6th Linked Data in Architecture and Construction Workshop, Londres, 2018.

RASMUSSEN, M. H.; HVIID, C. A.; KARLSHOJ, J. Web-based topology queries on a BIM model. In: Linked Data in Architecture and Construction Workshop 5, Dijon, 2017.

SCHULZ, O.; ORASKARY, J.; BEETZ, J. Lessons learned from designing and using bcfOWL. In: LDAC 2023 – 11th Linked Data in Architecture and Construction, Matera, Italy, 15–16 jun. 2023.

SMITH, B. New desiderata for biomedical terminologies. In: MUNN, K.; SMITH, B. (Eds.). *Applied Ontology: An Introduction*. Frankfurt–Lancaster: Ontos, 2008. p. 83-109.

SMITH, B. Beyond concepts: ontology as reality representation. In: VARZI, A.; VIEU, L. (Eds.). *Proceedings of FOIS 2004 – International Conference on Formal Ontology and Information Systems*, Turin, 4–6 nov. 2004.

XIAO, G.; DING, L.; COGREL, B.; CALVANESE, D. Virtual knowledge graphs: an overview of systems and use cases. *Data Intelligence*, v. 1, p. 201-223, 2019. DOI: 10.1162/dint_a_00011.

YOUNG, R. I. M. et al. Manufacturing knowledge sharing in PLM: a progression towards the use of heavy weight ontologies. *International Journal of Production Research*, v. 45, n. 7, p. 1505–1519, abr. 2007.

ZHAO, Z. Advanced RAG retrieval strategies using knowledge graphs. *Generative IA*, 2024. Disponível em: <https://medium.com/generative-ai/advanced-rag-retrieval-strategies-using-knowledge-graphs-12c9ce54d2da>. Acesso em: jun. 2024.