



XXI ENANCIB

Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação

50 anos de Ciência da Informação no Brasil:
diversidade, saberes e transformação social

Rio de Janeiro • 25 a 29 de outubro de 2021

XXI Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação – XXI ENANCIB

GT-8 – Informação e Tecnologia

Tecnologias Semânticas para Avaliar Projetos Construtivos Sustentáveis

Semantic Technologies to Assess Sustainable Construction Projects

Cristiano Geraldo Teixeira Silva - Universidade FUMEC

Marcello Peixoto Bax - Universidade Federal de Ouro Preto

Modalidade: Trabalho Completo

Resumo: Avaliar projetos construtivos "verdes" visa mensurar o quão sustentáveis são as edificações e isso é importante para poupar o meio ambiente em crescente deterioração. No entanto, a maioria das tarefas de avaliação ainda é realizada manualmente, consumindo tempo e aumentando a possibilidade de erros. O emprego de tecnologias semânticas é uma alternativa para sistematizar e acelerar o processo de avaliação. Apresenta-se o emprego de tecnologias semânticas e uma ontologia BIM simplificada para integrar dados de projetos BIM (*Building Information Modeling*) e outros dados tabulares externos ao projeto para automatizar as tarefas da certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). Para validar um protótipo, dados de um projeto BIM e dados abertos tabulados da prefeitura de Belo Horizonte são anotados semanticamente e um grafo de conhecimento é gerado no formato RDF. Uma vez integrados no grafo, os dados são utilizados para avaliar os critérios da certificação por meio de consultas. Os resultados preliminares sugerem que a aplicação destas tecnologias promove a extensão semântica dos elementos construtivos em BIM, facilitando a sua integração com outras bases de conhecimento e organiza conceitualmente os dados para melhor recuperar informações.

Palavras-Chave: Tecnologias semânticas; Ontologia; Projetos construtivos sustentáveis; LEED.

Abstract: *Evaluating constructive projects aims to measure how sustainable the buildings are, and this is important to save the environment from increasing deterioration. However, most assessment tasks are still performed manually, consuming time and increasing the possibility of errors. The use of semantic technologies is an alternative to systematize and accelerate the evaluation process. It presents the uses of semantic technologies and a simplified BIM ontology to integrate data from BIM (Building Information Modeling) projects and other tabular data external to the project to automate LEED certification tasks (Leadership in Energy and Environmental Design) certification. To validate a prototype, data from a BIM project and tabulated open data from the city of Belo Horizonte are annotated semantically, and a knowledge graph is generated in RDF format. Once integrated into the graph, the data is used to assess the certification criteria through consultation. The preliminary results suggest that applying these technologies promotes the semantic extension of the building elements in BIM, facilitating their integration with other knowledge bases and organizing the data conceptually to better retrieve information.*

Keywords: *Semantic technologies; Ontology; Sustainable constructive projects; LEED.*

INTRODUÇÃO

A preocupação com o uso de recursos e do meio ambiente em projetos levou ao conceito de construção verde, cada vez mais significativo na indústria da construção. A construção verde é definida para garantir qualidade e segurança durante todo o ciclo de vida da edificação e corresponde à aplicação da ideia de desenvolvimento sustentável (XU *et al*, 2019).

Para obter o selo verde, é indispensável avaliar o projeto da construção. A certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), concebida e concedida pela USGBC (*US Green Building Council*), é um sistema que classifica os projetos em quatro níveis (certificado, prata, ouro e platina) e é amplamente utilizada nas fases de projeto, construção, operação e manutenção de edifícios. Os critérios LEED são organizados em sete categorias: espaços sustentáveis, eficiência hídrica, energia e atmosfera, materiais e recursos, crédito de prioridade regional, qualidade ambiental interna e inovação (USGBC, 2020).

A tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) tem recebido cada vez mais destaque na indústria da construção. As ferramentas computacionais, que atendem aos conceitos desta tecnologia, interoperam com o uso de dados no formato IFC (*Industry Foundation Classes*), bem como exportam dados tabulares para análise de informações. Com a tecnologia BIM, um modelo virtual preciso de um ambiente construído contém geometria e dados necessários para apoiar as atividades de todo o ciclo de vida do ambiente construído. Essa tecnologia fornece base para novos recursos de projeto e construção, mudanças nas funções e relacionamentos entre a equipe. Assim, o BIM se apresenta como uma evolução no processo de projeto, pois permite novas possibilidades para visualizar, representar, processar, usar e recuperar a informação (SACKS *et al*, 2018).

A certificação LEED suportada por BIM pode economizar tempo e recursos substanciais. Com a integração entre BIM e edifícios verdes, surgem oportunidades para desenvolver ferramentas práticas para certificar construções verdes, melhorando a compatibilidade e a facilidade de uso por especialistas (WONG; ZHOU, 2015).

Avaliar uma construção para certificar sua sustentabilidade requer métodos mais inteligentes. A avaliação tradicional, realizada manualmente, é trabalhosa e propensa a erros

(JIANG; WANG; WU, 2018). Conciliado às limitações semânticas do formato IFC, a busca por aplicar tecnologias semânticas visa atender às melhores práticas para integrar, recuperar informações e gerar novos conhecimentos.

Em um fluxo de trabalho integrado, mediado por ontologias, o mapeamento entre os elementos da construção e outros dados pode auxiliar na análise de projetos. A representação semântica da construção por ontologias permite que os colaboradores de um projeto obtenham informações combinadas com outras fontes, enriquecendo as análises. Este método de representação é potencialmente vantajoso para auxiliar a certificação por meio de inferências, integrações e consultas, tornando um diferencial inovador (NIKNAM; KARSHENAS, 2017a; SACKS *et al*, 2018).

Outros conjuntos de dados, em formatos tabulares, também podem ser integrados com os dados de um projeto BIM. Para isso, é necessário realizar a conversão destes formatos aplicando tecnologias semânticas. Geralmente, estes conjuntos de dados são acompanhados de um dicionário de dados que descreve os dados. O uso de Dicionário Semântico de Dados (SDD - *Semantic Data Dictionary*) é uma alternativa para representar metadados legíveis por máquina para um conjunto de dados (RASHID *et al.*, 2020). O SDD formaliza a atribuição de uma representação semântica aos dados, anotando as colunas destes conjuntos e seus valores, usando conceitos de vocabulários e ontologias de práticas recomendadas. Abordagens para o mapeamento e representação semântica destes dados promovem a descoberta, interoperabilidade, reutilização e rastreabilidade. A formalização dos dados tabulares em grafos RDF (*Resource Description Framework*) é realizada na conversão da sua estrutura em uma ontologia OWL.

Padrões W3C¹, incluindo RDF e OWL, fornecem interpretações semânticas para grafos RDF que permitem inferir instruções RDF adicionais a partir de afirmações explicitamente dadas. Muitos aplicativos que dependem dessas semânticas requerem uma linguagem de consulta como SPARQL, que é uma linguagem bem estabelecida, capaz de combinar grafos RDF arbitrários e retornar atributos e transformações dos mesmos. Essa linguagem se tornou um padrão na indústria para representar regras e restrições em modelos da Web Semântica, sendo bem suportada por vários mecanismos e bancos de dados. Assim, triplas

¹ World Wide Web Consortium

retornadas em uma consulta SPARQL também podem ser consideradas inferências em um processo de raciocínio (COPPENS *et al*, 2013; TERKAJ; SOJIC, 2015).

Este trabalho apresenta o emprego de tecnologias semânticas para integrar dados de um projeto BIM e outros dados tabulares para automatizar as tarefas para certificação LEED. Como experimentação, os dados de um projeto BIM foram serializados em uma ontologia simplificada, dados tabulares da prefeitura de Belo Horizonte² sobre o entorno foram agregados e anotados em conjunto utilizando um dicionário semântico de dados para gerar grafos RDF. Inferências SPARQL realizadas no grafo forneceram novos conhecimentos sobre o atendimento aos critérios para certificar um projeto construtivo. O artefato desenvolvido neste trabalho visa promover a organização das informações, otimizar a recuperação das informações e apoiar a tomada de decisões.

Esta pesquisa é de natureza aplicada, uma vez que foram utilizados conhecimentos de estudos anteriores e das necessidades para certificação LEED. Destaca-se o emprego da metodologia *Design Science* e o ciclo regulador de Wieringa (2009), que consiste em uma estrutura lógica com diretrizes úteis para a resolução de problemas na elaboração de um artefato (BAX, 2013).

Na Seção 2 do artigo, apresenta-se os trabalhos relacionados, a Seção 3 explica a metodologia de construção do artefato e a Seção 4 demonstra a experimentação do protótipo e descreve soluções adotadas frente às dificuldades no método tradicional. Por fim, a Seção 5 sintetiza as considerações finais.

2 TRABALHOS CORRELATOS

É possível encontrar trabalhos que investigaram interdependências multidisciplinares em projetos de edifícios verdes, com foco na otimização computacional e colaboração na elaboração de projetos (AZHAR *et al*, 2011; GEYER, 2012; HONG; LEE; YU, 2019).

Identifica-se ainda estudos recentes relacionados ao uso de ontologias para classificar materiais e realizar análises automatizadas de características da construção para certificação verde. Zhang *et al* (2019) utilizam ontologia, com regras SWRL (*Semantic Web Rule*

² <http://bhmap.pbh.gov.br/v2/mapa/idebhgeo>

Language), para inferir a pontuação em tempo real de projetos verdes em um ambiente informatizado de comunicação social.

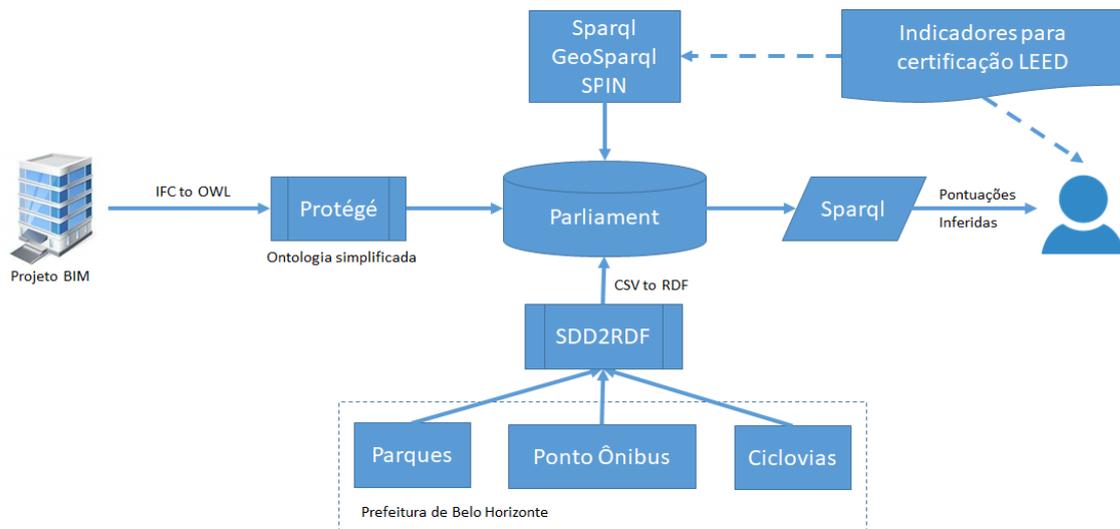
Nesta mesma linha de pesquisa, Jiang, Wang e Wu (2018) apresentam uma ontologia com utilização de regras SRWL. Os resultados experimentais demonstraram que a base de conhecimento BIM pode servir para a sustentabilidade da construção, bem como o compartilhamento, manutenção e aquisição de conhecimento entre os diferentes participantes do projeto. Também pode-se observar em Xu *et al* (2019) que utilizar inferências lógicas para avaliar um critério permite pesquisar aspectos que necessitam de melhorias na edificação e ajudando os gerentes de projeto a usar os dados BIM.

Essas pesquisas relacionadas acima não abordam, entretanto, a integração com dados abertos para análise do entorno, nem a aplicação de inferências para análises quantitativas, pontos-chave deste projeto. Nossa proposta busca modelar relações mais complexas do que aquelas encontradas nos trabalhos acima para realizar uma análise mais abrangente da certificação LEED.

3 ABORDAGEM TECNOLÓGICA PARA AUTOMATIZAR A CERTIFICAÇÃO

A Figura 1 apresenta a orquestração de métodos que compõem o fluxo de trabalho, ainda manual, que posteriormente será integrado na arquitetura de um arcabouço. Este fluxo de trabalho exige o conhecimento de tecnologias e, ainda, pode ser considerado complexo para o uso de um especialista em certificação. A implementação busca validar o protótipo como solução para o problema desta pesquisa, com os devidos cuidados para que possa ser aprimorada e expandida em outras soluções.

Figura 1: Fluxo de trabalho da metodologia



Fonte: Os autores

No início do fluxo, um arquivo no formato IFC de um projeto BIM é convertido em uma ontologia simplificada para avaliação dos critérios LEED. Para integrar dados externos, dados abertos, em formato CSV (*Comma-separated values*), são obtidos, mapeados para conceitos das ontologias e convertidos em grafos RDF. Os conjuntos de dados são inseridos no *triplestore* Parliament³ para realização das consultas e inferências em SPARQL. Uma consulta final é executada para apresentação do resultado das inferências sobre as pontuações obtidas para a certificação.

3.1 Ontologia Simplificada

Uma ontologia simplificada é criada, reutilizando as ontologias ifcOWL (PAUWELS; TERKAJ, 2016), SimpleBIM (PAUWELS; ROXIN, 2016), BOT (RASMUSSEN; HVIID; KARLSHØJ, 2017) e BIMSO (NIKNAM; KARSHENAS, 2017b), para organizar semanticamente os dados BIM. Os critérios LEED abrangendo o uso de materiais, utilizações dos espaços, dentre outros, são considerados usando dados de um projeto BIM. Tais critérios, no contexto da ontologia, embasam as inferências que avaliam o estado da edificação. Os procedimentos realizados para elaborar a ontologia simplificada se basearam na proposta de Pauwels & Roxin (2016), no método 101 (NOY; MCGUINNESS, 2001) e na abordagem SABiO (FALBO, 2014). A ontologia simplificada SEBIM (*Semantic BIM*) foi criada no Protégé 5.5 (Figura 2), com classes que representam os dados necessários para organizar as informações e analisar os critérios da certificação LEED.

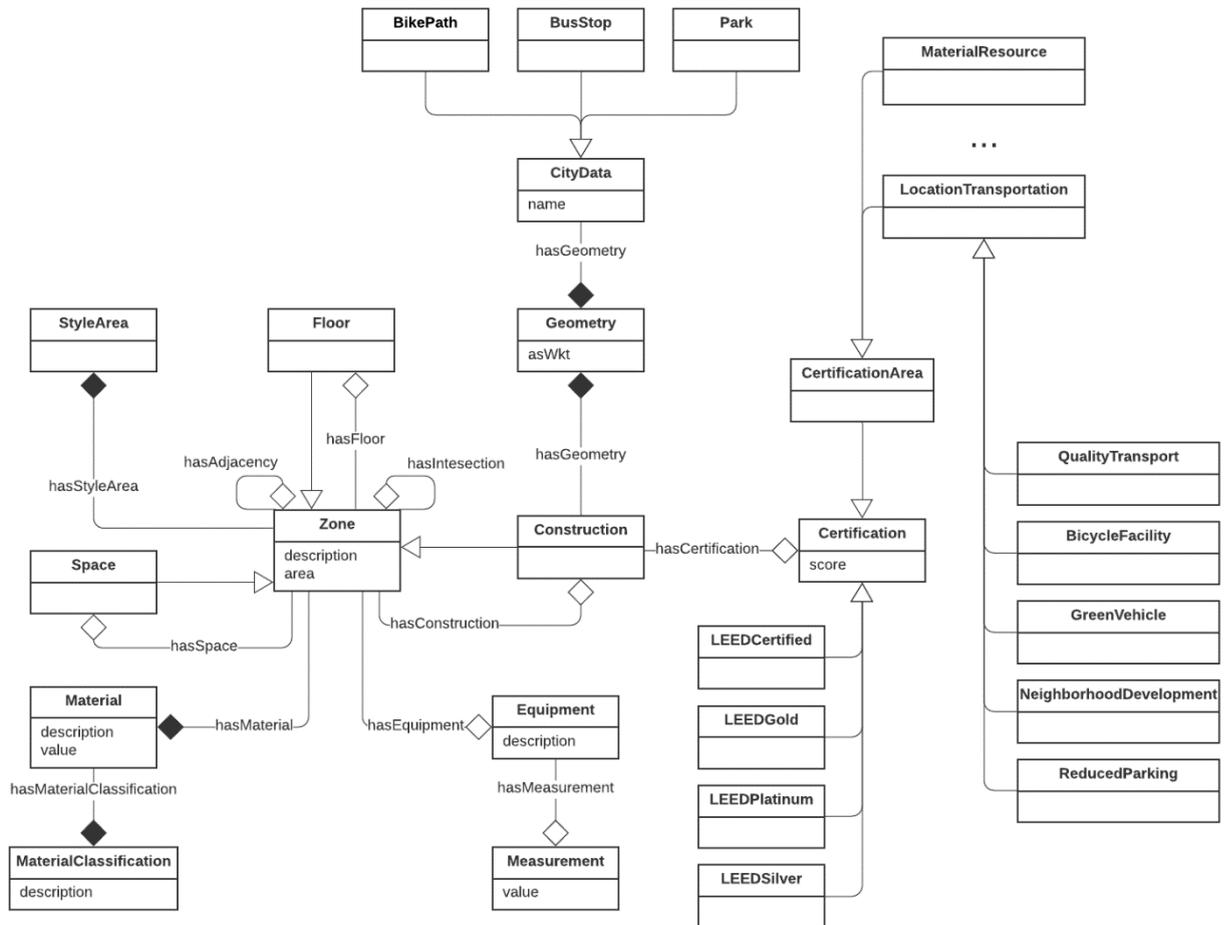
³ <https://github.com/SemWebCentral/parliament>

Os componentes do projeto de construção foram escolhidos para atender as análises dos critérios utilizados para certifi-cá-lo. As áreas (Zona) do ambiente construído são divididas nas subclasses Construção, Espaço e Andar⁴. Estas zonas são relacionadas entre si através das propriedades de interseção, adjacência e abrangência. As áreas se relacionam com a classe Estilo e uma Zona pode ter equipamentos instalados.

Para aplicar os critérios da certificação, uma Construção se relaciona com a classe Certificação. Os critérios são subclasses da certificação, seguindo o manual LEED, para agrupamentos sobre Localização e Transporte, Eficiência Hídrica, Energia e Atmosfera, Recursos e Materiais, Crédito de Prioridade Regional, Qualidade Ambiental Interna e Inovação. Entre as classes de Localização e Transporte (*LocationTransportation*) e Recursos e Materiais (*MaterialResource*) existem os demais agrupamentos, suprimidos no diagrama por limitação de espaço. As subclasses de Localização e Transporte, bem como dos outros agrupamentos, registram separadamente cada pontuação recebida para organizar as informações. Uma tripla de dados associada a uma subclasse será inserida ao conjunto de dados com a pontuação recebida. A consulta (2) corresponde à inserção de uma tripla para a subclasse Qualidade do Transporte (*QualityTransport*). Destaca-se ainda que não foram realizados relacionamentos entre os critérios e as classes de componentes de uma construção, uma vez que as inferências realizam a recuperação destas informações.

⁴ Os termos na ontologia estão em inglês.

Figura 2: Ontologia simplificada



Fonte: Os autores

Como muitas análises envolvem utilizar materiais e equipamentos, classes foram consideradas para abstrair esses dados, e o relacionamento de inclusão em uma Zona. A vinculação com equipamentos envolve a medição de dados e a localização interna de sensores, equipamentos de ar-condicionado, placas fotovoltaicas, entre outros. Já o relacionamento de zonas com materiais busca identificar o atendimento aos requisitos de sustentabilidade. Os materiais têm relação para a sua composição de matérias primas e para classificação, conforme o tipo de utilização. Tais relações e atributos correspondem às propriedades de dados e objetos.

Os atributos correspondem ao armazenamento de valores numéricos, como a pontuação obtida (*score*), descrições alfanuméricas, datas e dados geoespaciais (*asWkt*). Sendo este último necessário para vincular os dados abertos sobre o entorno do ambiente construído.

3.2 Anotação de Dados Tabulares

Publicar dados abertos na Web é uma ação de prefeituras que promove a cidade inteligente (ISOTANI; BITTENCOURT, 2015). No site da prefeitura de Belo Horizonte é possível encontrar conjuntos de dados sobre serviços e locais, mas, ainda sem utilizar as potencialidades da Web Semântica. A quantidade de dados é excessiva para interpretação humana e torna a interligação de dados dispendiosa e suscetível a erros.

Dados abertos sobre meios de transporte e parques são utilizados para avaliação de critérios da classe Localização e Transporte. Estes dados tem coordenadas geométricas de áreas e pontos da cidade, seguindo padronização da OGC⁵ (*Open Geospatial Consortium*), que define um vocabulário para representar dados geoespaciais.

Diante das opções para conversão de dados tabulares para RDF (DING *et al*, 2011; JEREMY TANDY; HERMAN; KELLOGG, 2015; RASHID *et al*, 2020), optou-se por Dicionários Semânticos de Dados, implementado na ferramenta *sdd2rdf*⁶. Os objetos e seus atributos são representados e identificados por meio de ontologias relevantes que constituem essas informações de uma maneira formalmente precisa e legível por máquina (RASHID *et al.*, 2020).

O grafo RDF gerado pela execução do script *ssd2rdf* contém a formalização dos dados e favorece a integração para consulta sobre locais da cidade por dados espaciais. Assim, dados sobre ciclovias, parques e pontos de ônibus são convertidos em grafos RDF.

3.3 Geração de Inferências

Regras lógicas permitem calcular automaticamente as pontuações do projeto de construção sobre as cláusulas de análise de dados internos do projeto BIM. Conforme Bassiliades (2018), SWRL tornou-se uma escolha popular para o desenvolvimento de aplicativos baseados em regras. Porém, como o SWRL existe há mais de dez anos e ainda não alcançou o mundo industrial, optamos por utilizar SPARQL sobre os grafos RDF gerados. Uma vez que estes dados são integrados a outros, SPARQL é uma solução para centralizar as inferências. Em comparação com as linguagens de consulta específicas, o SPARQL é especialmente aplicável a cenários em que são necessários dados de várias fontes (KRIJNEN; BEETZ, 2018).

⁵ <https://www.ogc.org/standards/geosparql>

⁶ <https://github.com/tetherless-world/SemanticDataDictionary>

As inferências deste trabalho foram realizadas em SPARQL, aplicando um INSERT para inserir a tripla inferida no conjunto de dados, direcionando a pontuação à classe correspondente ao critério. A consulta (1) exhibe a inferência realizada para avaliar a instalação para bicicletas.

```

PREFIX sebim: <http://www.semanticweb.org/SEBIM#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>

INSERT {?cr <http://www.semanticweb.org/SEBIM#score> "1"^^xsd:decimal}
WHERE {
  ?cr rdf:type sebim:BicycleFacilities.
  ?build rdf:type sebim:Material.
  ?build sebim:hasMaterialClassification sebim:RackBike.
  ?build sebim:value ?n.
  { SELECT (count(?s) as ?place) WHERE { ?s rdf:type sebim:Space. } }
}
GROUP BY ?cr ?build ?n ?place
HAVING (?place >= ?n)

```

(1)

As consultas para análises sobre o entorno exigem utilizar funções GeoSPARQL para capturar as coordenadas geoespaciais do ambiente usando representações de polígonos *Well-Known-Text* (WKT), padronizadas pela OGC. A consulta (2) exhibe a inferência que analisa a proximidade de pontos de ônibus e cria a tripla com a pontuação.

```

PREFIX sebim: <http://www.semanticweb.org/SEBIM#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX uom: <http://www.opengis.net/def/uom/OGC/1.0/>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX geof: <http://www.opengis.net/def/function/geosparql/>

INSERT {?cr <http://www.semanticweb.org/SEBIM#Score> "1"^^xsd:decimal }
WHERE {
  ?build rdf:type bim:Terrain.
  ?build geo:asWkt ?pb.
  ?build ?x sebim:busstation.
  ?bus ?y sebim:geometria.
  ?bus geo:asWKT ?pl.
  ?cr rdf:type sebim:QualityTransport.
  FILTER (geof:distance(?pb, ?pl, uom:metre) <= 800)
}

```

(2)

O processo de inserir novas triplas via SPARQL automatiza a avaliação dos critérios da certificação LEED⁷. As consultas foram agrupadas em dados internos ao projeto BIM, dados

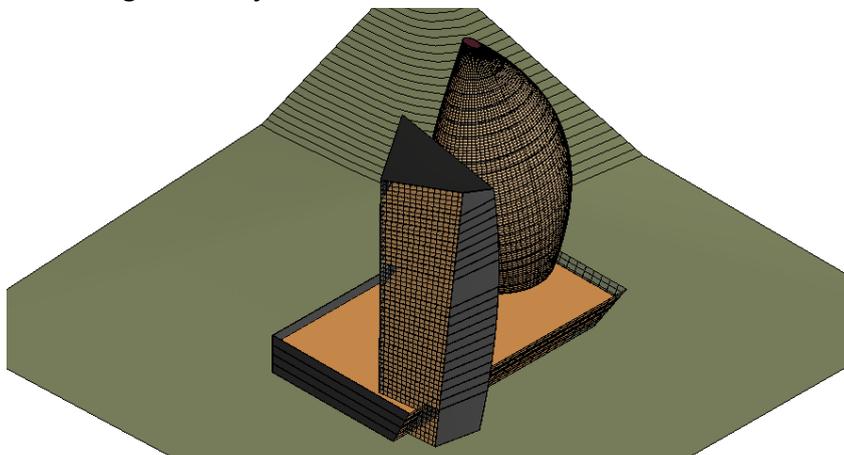
⁷ <https://github.com/cgtsbr/sebim>

de simulações e dados externos ao BIM. A experimentação inicial baseou-se na criação de instâncias e atributos fictícios para validar as inferências dos critérios para avaliação de um projeto construtivo. Como a certificação LEED fornece critérios por tipologia da construção (novas construções, manutenções, hospitais e galpões), adotou-se a avaliação de uma nova construção. Diante da complexidade de informações necessárias para todos os critérios, selecionou-se aqueles que representassem um tipo de extração diferente. Assim, dos 57 critérios para uma nova construção, foram implementados 7 critérios, conforme explicado na próxima seção.

4 DEMONSTRAÇÃO DO PROTÓTIPO

Para experimentar os métodos empregados no protótipo, foi escolhido um projeto acadêmico elaborado por alunos do curso de arquitetura da Universidade FUMEC. A modelagem, exibida na Figura 3, foi criada no *software* Autodesk Revit⁸ e contém edifícios envidraçados com 27 áreas (pavimentos). O Revit possibilita a modelagem tridimensional em BIM, oferece suporte a projetos, possibilita simulações de análises da construção e exporta dados para integração com outras ferramentas.

Figura 3: Projeto BIM desenvolvido no Autodesk Revit



Na primeira tentativa de exportar dados para integrá-los a outros dados externos, optou-se por gerar o arquivo IFC do projeto no Revit. De posse do arquivo, buscou-se converter o formato IFC em grafo RDF. As ferramentas utilizadas foram o IFCToRDF⁹ para converter os dados usando a ontologia ifcOWL, e o IFCToLDB¹⁰ para converter os dados

⁸ <https://www.autodesk.com.br/products/revit>

⁹ <https://github.com/pipauwel/IFCToRDF>

¹⁰ <https://github.com/jyrkioraskari/IFCToLDB>

conforme a ontologia BOT. Ambas convertem os dados do arquivo IFC para as suas respectivas ontologias, anotando-os. Porém, devido à limitação das ferramentas, obteve-se uma superficialidade semântica das relações entre as classes dessas ontologias (exclusivamente relações de subsunção), a organização final das informações constitui antes uma taxonomia do que uma ontologia. Diante da insuficiência do resultado obtido, a segunda tentativa de exportar dados envolveu a geração de arquivos tabulares no Revit, ao invés de exportar em formato IFC. Esta tentativa se mostrou mais eficaz, uma vez que permitiu utilizar a ferramenta *sdd2rdf*, vinculando os dados à ontologia SEBIM, desenvolvida neste trabalho. Devido à limitação do filtro de exportação do Revit, foram gerados dois arquivos, sendo um contendo os dados de materiais e o outro os dados das áreas.

Os dados do projeto BIM a ser avaliado como sustentável e os dados da prefeitura de Belo Horizonte foram anotados semanticamente por meio do dicionário semântico e convertidos de forma integrada para o padrão RDF (com a ferramenta *sdd2rdf*) e, por fim, inseridos no *triplestore*. A execução das inferências via consultas SPARQL gerou novas triplas contendo a pontuação final para verificar se os critérios da certificação LEED foram ou não atendidos. Os critérios analisados no projeto em questão são apresentados no Quadro 1. Pode-se concluir que apenas três critérios não obtiveram nota máxima. Cabe ainda destacar que os critérios com nota máxima acima de 1, podem apresentar escalas de pontuação definidas no manual LEED.

Quadro 1: Pontuação dos critérios utilizados na experimentação

Critério	Nota Máxima	Pontuação
Acesso a transporte de qualidade	5	5
Instalações para bicicletas	1	0
Veículos verdes	1	0
Espaço aberto	1	1
Produção de energia renovável	3	0
Ingredientes do material	2	2
Iluminação interna	2	2

Fonte: Os autores.

Durante a realização da pesquisa, as dificuldades identificadas (Quadro 2) no processo tradicional de organização das informações para a certificação LEED são utilizadas para validar a pertinência da aplicação das tecnologias semânticas empregadas no protótipo proposto.

A utilização do BIM é um fator determinante para a evolução do trabalho colaborativo de profissionais da indústria da construção. O registro dos dados, associado aos elementos tridimensionais, é essencial para organizar as informações do projeto. Mesmo utilizando as ferramentas especializadas em BIM, a recuperação das informações é trabalhosa. Assim, a conversão do formato IFC para OWL é abordada como solução para aumentar a semântica entre os dados e facilitar a recuperação de informações para análises. Além disso, a integração com outros conjuntos de dados, como dados de prefeituras anotados semanticamente, é facilitada.

Quadro 2: Soluções para as dificuldades encontradas

Dificuldade / Desafio de pesquisa	Solução
Extensão do formato IFC da tecnologia BIM	Conversão do IFC para a ontologia simplificada (SEBIM)
Integração com dados externos	Anotação semântica de dados tabulares
Organização das informações	Grafos de conhecimento
Análise dos dados (critérios LEED)	Inferências SPARQL
Recuperação de dados	Consultas SPARQL

Fonte: Os autores.

Na primeira versão do protótipo, buscou-se a abordagem baseada em ontologia monotônica, na qual a linguagem de regras SWRL foi usada para formalizar as regras para inferir as pontuações. Porém, esta abordagem apresentou algumas limitações, especialmente na modelagem de regras complexas e facilidade de manutenção. Assim, a implementação do modelo de raciocínio baseado em regras, utilizou consultas SPARQL, gerando novas triplas para inferências sobre a pontuação de cada critério.

O fluxo de trabalho proposto por esta pesquisa permite implementar uma solução amigável para especialistas que desconhecem tecnologias semânticas. O protótipo pode ser implementado em *frameworks* como *JenaSemanticWeb* e *VirtuosoOpenSource*, que suportam funções GeoSPARQL e recursos para as inferências.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresenta-se o protótipo de uma solução para integrar dados e gerar inferências com tecnologias da Web Semântica para automatizar a avaliação da certificação LEED. A tecnologia BIM, referência na indústria da construção civil, é utilizada como base de uma ontologia simplificada para integrar dados. Dados abertos, em formato tabular, são anotados semanticamente utilizando dicionário semântico de dados. Com os dados integrados em um *triplestore*, consultas SPARQL forneceram inferências sobre o atendimento aos critérios para

certificação. Os resultados sugerem que essa solução promove uma extensão semântica dos elementos construtivos em BIM, facilita a integração com outras bases de conhecimento e organiza os dados para a recuperação de informações.

Conforme apresentado neste trabalho, a implementação adotando tecnologias semânticas em cenários com dados BIM integrados a outros dados não depende de sistemas proprietários. A escolha do *Parliament* se resume em maior simplicidade de instalação, utilização e suporte gratuito às funções GeoSPARQL. Outras ferramentas podem ser utilizadas, desde que tenham suporte às buscas por dados geoespaciais.

Novas experimentações proporcionarão o enriquecimento da base de conhecimento com o refinamento das consultas para implementar um sistema eficiente para avaliar o grau de certificação LEED de projetos de edificação. Além disso, outras informações, como construções certificadas no entorno e outras informações externas sobre materiais, podem ser incorporadas à base de dados para atendimento aos demais critérios para avaliação.

Finalmente, espera-se que futuras aplicações similares do protótipo possam fazê-lo evoluir e colaborar na avaliação de projetos construtivos como a autorização de construção nas prefeituras, entre outras avaliações que exigem análises complexas.

REFERÊNCIAS

AZHAR, Salman; CARLTON, Wade A.; OLSEN, Darren; AHMAD, Irtishad. Automation in Construction Building information modeling for sustainable design and LEED[®] rating analysis. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 217–224, 2011. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.019.

BASSILIADES, Nick. SWRL2SPIN: converting SWRL to SPIN. **CEUR Workshop Proceedings**, [s. l.], v. 2204, 2018.

BAX, Marcello Peixoto. Design science: filosofia da pesquisa em ciência da informação e tecnologia Design science: philosophy of research in information science and technology. **Ci. Inf.**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 298–312, 2013.

FALBO, Ricardo de Almeida. SABiO: Systematic approach for building ontologies. **CEUR Workshop Proceedings**, [s. l.], v. 1301, n. February, 2014.

GEYER, Philipp. Advanced Engineering Informatics Systems modelling for sustainable building design. **Advanced Engineering Informatics**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 656–668, 2012. DOI: 10.1016/j.aei.2012.04.005.

HONG, Sim-Hee; LEE, Seul-Ki; YU, Jung-Ho. Automated management of green building material information using web crawling and ontology. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 102, n. September, p. 230–244, 2019. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.01.015.

JIANG, Shaohua; WANG, Na; WU, Jing. Combining BIM and Ontology to Facilitate Intelligent Green Building Evaluation. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [s. l.], v. 32, n. 5, p. 1–15, 2018. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000786.

KRIJNEN, Thomas; BEETZ, Jakob. A SPARQL query engine for binary-formatted IFC building models. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 95, n. August, p. 46–63, 2018. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.07.014.

NIKNAM, Mehrdad; KARSHENAS, Saeed. A shared ontology approach to semantic representation of BIM data. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 80, p. 22–36, 2017. a. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.03.013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.013>.

NIKNAM, Mehrdad; KARSHENAS, Saeed. A shared ontology approach to semantic representation of BIM data. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 80, p. 22–36, 2017. b. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.03.013.

NOY, Natalya F.; MCGUINNESS, Deborah L. **Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology** Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880. [s.l.: s.n.]. DOI: 10.1007/s00607-018-0687-5.

PAUWELS, Pieter; ROXIN, Ana. SimpleBIM: From full ifcOWL graphs to simplified building graphs. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRODUCT & PROCESS MODELLING 2016, Limasol, Cyprus. **Anais [...]**. Limasol, Cyprus: European Conference on Product & Process Modelling, 2016.

PAUWELS, Pieter; TERKAJ, Walter. EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 63, p. 100–133, 2016. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.12.003.

RASMUSSEN, Mads Holten; HVIID, Christian Anker; KARLSHØJ, Jan. Web-based topology queries on a BIM model. **5th LDAC workshop**, [s. l.], n. November, 2017.

SACKS, Rafael; EASTMAN, Charles; LEE, Ghang; TEICHOLZ, Paul. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2018.

USGBC. LEED V4.1: Building Design and Construction. **US GREEN BUILDING COUNCIL**, [s. l.], n. January, p. 259, 2020.

WIERINGA, Roel. Design science as nested problem solving. **Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology, DESRIST '09**, [s. l.], 2009. DOI: 10.1145/1555619.1555630.

WONG, Johnny Kwok Wai; ZHOU, Jason. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 57, p. 156–165, 2015. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.06.003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>.

XU, Zhao; WANG, Xuerong; ZHOU, Wentao; YUAN, Jingfeng. Study on the Evaluation Method of Green Construction Based on Ontology and BIM. **Hindawi**, [s. l.], p. 1–22, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1155/2019/5650463>.

ZHANG, Daxin; ZHANG, Jinyue; GUO, Jianing; XIONG, Haiming. A semantic and social approach for real-time green building rating in BIM-based design. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 14, p. 1–16, 2019. DOI: 10.3390/su11143973.