ESG - ENVIRONMENTAL,SOCIAL AND GOVERNANCE
SINGEURB
IV Simpósio Nacional de Engenharia Urbana

Rio de Janeiro, 22 a 24 de novembro de 2023

CONSTRUINDO UMA ONTOLOGIA GIS

BUILDING A GIS ONTOLOGY

MENEGOTTO, José Luis
Escola Politécnica da UFRJ, jlmenegotto@poli.ufrj.br

RESUMO

O presente artigo relata a metodologia deprogramação de um mecanismo construtor de ontologias. Para implementaro sistemaforam utilizados dois elementos: 1)um conjunto de planilhas Excel que contêm a estrutura hierárquica das asserções de classes, propriedades de objetos, propriedades de dados einstâncias para a testagem que, em conjunto, definirão a axiomática ontológica para um domínio GIS bem delimitado; e, 2) um mecanismo para o processamento das planilhas, programado em Revit dentro do ambiente Dynamoutilizado para escrever o arquivo em formato OWL (*Ontology Web Language*). A função do mecanismo é realizar a leitura das planilhas e transportar os conteúdos escrevendo-osem arquivos OWL e sintaxe Manchester.São introduzidos alguns conceitos-chave presentes em pesquisas realizadas no campo disciplinar da ciência da computação durante as décadas de 80, 90 e mais recentes. A construção das ontologias tem como objetivo integrar projetos de planejamento urbano como recurso RDF na Web-Semântica, dentro de sistemas que operem no paradigma de Dados Abertos e Conectados.

Palavras-chave: Ontologia GIS, Dados Abertos e Conectados, Web Semântica,Cidades Inteligentes.

ABSTRACT

This article reports on the programming methodology of anontology constructor application. This 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 of a defined GIS domain; and 2)a mechanism for processing spreadsheets, programmed in Revit with DesignScript language in Dynamo environment. The function of the mechanism is to read the spreadsheet content and translate it by writing it in OWL format, using the Manchester syntax. The work is introduced remembering some key concepts present in research of computer science field during the 80s and 90s and more recently. The construction of the ontology aims the integration with the Semantic Web, within systems that operate into theBerners-Lee's Open Linked Data paradigm.

***Keywords**: GIS Ontology, Open Linked Data, Semantic Web, Smart-Cities.*

1 INTRODUÇÃO

Ontologias extensíveis para complementar diversos modelos de dados, como o IFC no campo do BIM ou CityGML no domínio do GIS, têm sido estudadas com maior atenção em anos recentes (BEETZ *et al*, 2009). Além de permitirem enriquecer a semântica dos projetos (AL-HAKAM, *et al*, 2020)elas possibilitam incorporar raciocínio lógico às aplicações, tornando-as mais eficientes para gerenciar dados.A formulação de ontologias tem sido um recurso amplamente utilizado nos campos da medicina, da genética e da biologia. Pesquisas bibliográficas apontam um crescente interesse pelo tema no campo do geoprocessamento(LIN *et al*, 2017). Iniciativas comoa do projeto *GeoDataOnt* (SUN *etal,* 2019) procuram modos de alinhar ontologias heterogêneas em ambientes computacionais unificados para descrever dados geoespaciais. Também existemtrabalhos no campo do BIM, comoo BOT (*Building Topology Ontology*),dedicado àsemântica IFC; o BROT (*Bridge Topology Ontology*) baseado em BOT, mas dedicado ao projeto de viadutos; a ontologia*Brick*que ordena a semântica de sensores e dispositivos IoT incorporados às edificações; e, o SAREF (*SmartREFerenceOntology*)(BUS *et al*, 2018).

A construção de ontologias é uma atividade originária da ciência da computação, portanto há certa dificuldade para engajar projetistas na formulação de modelos de dados semânticos utilizados em projetos urbanos. Em geral, os projetistas recebem o modelo de informação pronto e devem adaptar-se a ele. Durante a pesquisa constatou-se a falta de mecanismos programados que facilitem a tarefa de construir ontologias por parte deprofissionais da área de planejamento urbano, que possuem o conhecimento dos sistemas urbanos, mas carecem dos conhecimentos necessários para montar ontologias acerca desse domínio.

1.1Fundamento teórico

A modelagem de ontologias é umalinha de pesquisa inserida no campo da Inteligência Artificial. A definição clássica de uma ontologia é devida a Gruber, que a define como "*uma especificação explicita de uma conceptualização*" (Gruber, 1993). Além de tornar explícitos os conceitos de um domínio de conhecimento, Gruber acrescenta que, formalmente, uma ontologia é a "*declaração de uma teoria lógica*". Em termos práticos, ontologias compartilhadas entre agentes devem definir o vocabulário necessário para permiti-lhes realizar tarefas de inteligência geral a partir de interações em interfaces informáticas do tipo "*tell and ask*", ou seja, interfaces de afirmações e consultas sobre os objetos (Gruber, 1993). Gruber cita o trabalho de Levesque, que na década de 80 abordou o problema da representação lógica do conhecimento desde um paradigma funcional. Levesque sugeria que operações primitivas para formar aplicações complexas baseadas em bases de conhecimentopassam por dois momentos: o primeiro seria o da aquisição do conhecimento e, o segundo, o aumento do conhecimento. Levesque esquematiza osmomentos do seguinte modo:

- 1° Acesso ao conhecimento:*Ask: Knowledge X Query -->Answer*.
- 2° Aumentodo conhecimento: *Tell: Knowledge X Assertion --> Knowledge*.

Para este artigo é importante destacar dois aspectos: 1) o termo "agente" é usado para significar agentes humanos (pessoas e organizações) e algorítmicos e, 2) os conhecimentos ontologicamente formalizadosnão serão fundamentados pela sua completude, mas pela sua consistência. Coincidindo com Gruber entende-se que o conhecimento adquirido pelos agentes não precisaria ser simétrico nem completo,

pois cada agente poderá saber aspectos diferentes acerca do mesmo objeto (Gruber, 1993).As ontologias propostas pelo mecanismo tentarão expressar em linguagem de máquina e humana o que um objeto é. Para isso, é fundamental que os envolvidos num projeto ontológico possam definir e avaliar os conceitos incorporados, através de afirmações sobre classes de objetos, as suas propriedades, as propriedades dos dados utilizados e, finalmente, pelos indivíduos concretos planejados (instâncias das classes). Por sua natureza, este processo não pode ser determinado ou fechado, mas incremental e aberto para permitir ampliar e reformular conhecimentos já sedimentados.

2 FUNDAMENTOS DO MECANISMO CONSTRUTOR

Para implementar o mecanismo construtor de ontologiasforam levadas em conta as cinco recomendações formais de Gruber: *Clareza, Coerência, Extensibilidade, Viés mínimo de codificaçãoe Comprometimento ontológico mínimo*.

A*Clareza* recomenda que as definições conceituais sejam, no possível, necessárias e suficientes. O mecanismo programado tentou facilitar o esforço conceitual dos ontologistas, permitindo-lhes a rápida reconfiguração de classes, propriedades e relacionamentos da axiomática proposta, além de documentar cada conceito em linguagem natural. Nesta versão, o mecanismo limitou-se a documentar os termos em idioma português com o axioma "*Annotations*".

O segundo aspecto, a *Coerência*, diz respeito ao vínculo entre a inferência formal e as descrições informais que podem ser realizadas em linguagem natural, as quais não podem ser contraditórias. A formatação das coresdaplanilha permite a visualização global do campo ontológico e a integração visual com o tradicional editor de ontologias *Protégé*. Objetiva-se favorecer a adição de conceitos ordenadamente.

A *Extensibilidade*implica que a definição de cada novo termo possa ser herdeiro "*monotônico*"[1] do vocabulário previamente definido. O ordenamento das células B C D da Tabela 5, atende esta recomendação, diminuindo esforços de adaptação ou redefinição das terminologias dentro da planilha.

A quarta recomendaçãosolicitautilizarum *Viés mínimo de codificação*. A escolha da sintaxe Manchester(HORRIDGE, *et al*. 2012), atende esta questão, pois a sua escrita é quase natural. Elautiliza uma mínima quantidade de caracteres especiaisse comparada com outras sintaxes utilizadas para o mesmo fim,como Turtle, *XML ou JSON*.

Finalmente, o *Comprometimento ontológico mínimo*recomenda que a conceitualização dos objetos e sistemas urbanos seja o mais simples possível. Estaquestão está no cerne da conceitualização dos objetos e cabe aos ontologistas realizarem. Acredita-se que seja o grande desafio epistemológico envolvido na definição ontológica.

As recomendações de Gruber originam-se na ciência da computação, campo disciplinar que estuda e concebelinguagens formais e mecanismos de raciocínio para sistemasartificiais, implementando-os através de operações de lógica matemática ou de primeira ordem. A matéria-prima das ontologias é composta por

[1] Gruber utiliza esta expressão matemática entendida do seguinte modo: os conceitos englobarão membros menores do mesmo género ou natureza e crescerão sem afetar a estruturação da árvore ontológica.

um indeterminado número de premissas (asserções) e um conjunto limitado de operações lógicas.Por outro lado, este trabalho nasce no campo disciplinar do planejamento urbano, o que implica mudar de nível a representação simbólica, incorporando nas asserções ontológicas o raciocínio natural de seres humanos. Em outras palavras, na construção de uma ontologia interceptam-sedois processos de raciocínio, o natural e o formal.

3 OBJETIVOS: ABNT E DADOS CINCO ESTRELAS

Partindo das recomendações de Gruberexplicitam-seos objetivos do trabalho.

1° objetivo: comoé assumido que o conhecimento ontológico de um objeto será incompleto,mas extensível, faz-se necessário facilitar aos agentes a revisão conceitual já sedimentada. Portanto, o mecanismo deve permitir a formulação e a reformulação de conhecimentos estabelecidos, além de ser integrado e endereçável como recurso RDF nos ambientes deconhecimento da Web-Semântica.

2° objetivo: a axiomática ontológica deve ser aberta e permitir um crescimento contínuo e ordenado de conhecimentos, pois a descrição axiomática de um projeto urbano singular será construída pela sucessiva adição de conhecimentos. A base de conhecimentos aumentará conforme o processo se desenvolva no tempo. Como ponto de partida, são utilizados conhecimentos já sedimentados em domínios específicos.

3° objetivo: recomendar que organismos normativos como a ABNT,sejam os provedores de basesde conhecimentos ontológicas iniciais. Uma vez que as Normas Técnicas entesouram o conhecimento técnico gerado ao longo dos anos, parece ser recomendável que tal conhecimento seja traduzido e publicado em ontologias técnicas de domínio específico. Para que a interoperabilidade informacional melhore em eficiência e se desenvolva, seria recomendável contar com publicações abertas e irrestritas de ontologias ABNT, que forneçam dados cinco estrelas de acordo com a conceitualização de Berners-Lee (2009). O processo heurísticode descoberta de novos conhecimentos, aportados por novosplanos diretores, será orientado pelas ontologias existentes e ampliado pelas características ontológicas dos novos projetos.

4 DESCRIÇÃO DO MECANISMO

A estrutura do mecanismo foi dividida em seis folhas de uma planilha Excel comodescrito a seguir.

4.1 Folhade Anotações de propriedades gerais da ontologia

São utilizadas duas colunas para declarar aspectos gerais de identificação da ontologia (prefixo, tema, domínio etc.) num esquema de Propriedade e Valor, colunas B-C. (Tabela 1) Como cada arquivo Excel é criado para um domínio específico,na primeira linha declara-se o prefixo ou*NameSpace* da ontologia (Urba:). Esse valorservirá de identificador URI (Uniform Resource Identifier) e é um dos requisitos críticos paraincorporar a ontologia em ambientes da Web-Semântica que utilizem tecnologia RDF vinculandorecursos informacionais, no paradigma de *Open Linked Data*proposto por Berners-Lee (2009).

Tabela 1 – Anotações de propriedades gerais da ontologia

A	B	C
N°	**Propriedade**	**Valor**
1	PrefixoOntologia	Urba
2	TemaOntologia	RedesUrbanas
3	Classe	Redes

Fonte: O autor (2023)

4.2 Folhade **Mapa semântico de equivalências entre modelos de dados**

Na coluna Bdo mapa semântico (Tabela 2) são listadas todas as classesde um determinado modelo de dados(p.ex. CityGML). As colunasseguintes são reservadas para estabelecer equivalências com as classes de gênero equivalente, mas que pertençam a outros modelos de dados (p.ex. OST), com uma equivalência por coluna. Sugere-se que a primeira equivalência seja a mais próxima ou direta, mas como em geral os modelos de dados podem carregar ambiguidadesou indefinições semânticas, os ontologistas poderãooptar como ordenar as equivalências.

Tabela 2 – Mapa semântico de equivalências entre modelos de dados

A	B	C	D	E	F	G...
N°	**Classes GML OST IFC**	**Equivalência1**	**Equivalência 2**	**Equivalência3**	**Equivalência4**	**Equivalência5...**
1	SpatialUnit	OST_Space	OST_Room	OST_Area	ifcSpace	Vnulo
2	AbstractNetworkFeature	OST_PipeSegments	IfcPipeSegment	Vnulo	Vnulo	Vnulo
3	AbstractNetworkFeature	OST_PlumbingEquipment	ifcSanitaryTerminal	Vnulo	Vnulo	Vnulo

Fonte: O autor (2023)

4.3 Folhade **Definição de classes, asserções de equivalências e anotações**

As cinco primeiras colunas são reservadas para definir as Classes da ontologia ordenadas hierarquicamente em cinco níveis:SuperClasse1→SuperClasse2→SuperClasse3→ SuperClasse4→Classe. A Superclasse1 éraiz da árvore genealógica da classe definida na coluna F. A partir da coluna G são reservadas quatro colunas para estabelecer asserçõessobre as classes das colunas anteriores, ordenadas em pares correspondentes (C, C+4). ASuperClasse*Urbano,*na coluna C, terá suas asserções declaradas na coluna G (Tabela 3a).

Tabela 3a – Definição de classes e asserções de equivalências

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
N°	**Super Class 1**	**Super Class 2**	**Super Class 3**	**Super Class 4**	**Class**	**EquivalentTo: SuperClass 2**	**EquivalentTo: SuperClass3**	**EquivalentTo: SuperClass4**	**EquivalentTo: Class 5**
1	Sistema	Urbano	Rede	deAgua	Tubo	*urba:tem_Nome some urba:Sistema*	*urba:tem_Insumo some urba:Sistema*	*urba:tem_Genero some urba:Rede*	*urba:tem_Diâmetro some urba:Tubo*
2	Sistema	Urbano	Rede	deAgua	Conexão	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*	*urba:tem_Forma some urba:Conexão*
3	Sistema	Urbano	Rede	deAgua	Válvula	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*	*urba:tem_Função some urba:Válvula*

Fonte: O autor (2023)

As anotações seguem a mesma lógica nas colunas L a P (Tabela 3b). É reservada a coluna K (Key) para incorporar um identificador individual.

Tabela 3b – Definição das anotações (continuação Tabela 3a)

K	L	M	N	O	P
Key	**Anotações Classe 1**	**Anotações Classe 2**	**Anotações Classe 3**	**Anotações Classe 4**	**Anotações Classe 5**
Key1	*É uma infraestrutura básica da cidade*	*Trata-se de uma Rede urbana*	*Abastece Insumo essencial para a população*	*É de água potável*	*Conduz o insumo para abastecimento.*
Key2	*É uma infraestrutura básica da cidade*	*Trata-se de uma Rede urbana*	*Abastece Insumo essencial para a população*	*É de água potável*	*Define o traçado geométrico da rede*
Key3	*É uma infraestrutura básica da cidade*	*Trata-se de uma Rede urbana*	*Abastece Insumo essencial para a população*	*É de água potável*	*Regula os fluxos da rede*

Fonte: O autor (2023)

4.4 Folhade Classes disjuntas

Neladefinem-se as disjunções de classes (Tabela 4). Por exemplo, uma classe *PXYZ*deve ser disjunta de uma classe PGEO. Apesar de ambas as classes definirem posicionamentos, a primeira refere-sea posicionamentoscartesianos XYZ,enquantona segunda são posicionamentosgeográficoscom coordenadas de Latitude e Longitude.Portanto,as suas condições particulares, como o ordenamento invertido das coordenadas Latitude correspondendo com Y e Longitude com X ou a precisão numérica, as diferenciam. Podemexistir disjunções entre classes e categoriasde modelos de dados diferentes (KML, CityGML, IFC, OST).

Tabela 4 – Classes disjuntas

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
N°	**Disjunta 1**	**Disjunta 2**	**Disjunta 3**	**Disjunta 4**	**Disjunta 5**	**Disjunta 6**	**Disjunta 7**	**Disjunta 8**	**Disjunta 9**	**Disjunta 10**
1	Categoría KML	Categoría CityGML	Categoría IFC	Categoría OST	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*
2	PXYZ	PGEO	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*	*Vnulo*

Fonte: O autor (2023)

4.5 Folhade Classes, propriedades, características, domínios, faixas e anotações

São definidas as Propriedades dosDados (colunas B-C), dosObjetos (coluna D) comas suas características ontológicas de "*Funcional*", "*Simétrica/Antissimétrica*", "*Transitiva*" e "*Inversa de*"(colunas E-H), os domínios e faixas de aplicação em classes (colunas I-M), as unidades das propriedades (coluna N) e as anotações terminológicas(coluna O)(Tabela 5).

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

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
N°	**SuperData Propriedade**	**Data PropValue**	**Objeto Propriedade**	**Func.**	**Sim.**	**Trans.**	**Inversa_de**	**Dom1**	**Dom2**	**Dom3**	**Fxa1**	**Fxa2**	**Data Range**	**Anotações**
1	Tubo	Tem_sistema	Tem_sistema	Sim	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	xsd:boolean	É tubo
2	Tem_sistema	deAgua	da_Rede_de	Sim	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Rede	Vnulo	Vnulo	Tubo	Vnulo	xsd:string	De água potável
3	Tem_sistema	deEsgoto	da_Rede_de	Sim	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Rede	Vnulo	Vnulo	Tubo	Vnulo	xsd:string	É de esgoto
4	Tem_sistema	Empresa	da_Empresa	Sim	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Rede	Vnulo	Vnulo	Tubo	Vnulo	xsd:string	A empresa concessionária
5	Tem_sistema	Material	do_Material	Sim	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Rede	Vnulo	Vnulo	Tubo	Vnulo	xsd:string	Material do tubo
6	Tem_sistema	Diametro	de_Diametro	Sim	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Rede	Vnulo	Vnulo	Tubo	Vnulo	xsd:double	Diâmetro do tubo
7	Tem_sistema	Alimenta	Alimenta_a	Sim	Não	Vnulo	Alimentado_por	Rede	Vnulo	Vnulo	Tubo	Vnulo	xsd:element	Prédios com água potável

8	Tem_sistema	Evacua	Evacua_a	Sim	Não	Vnulo	Coleta_em	Rede	Vnulo	Vnulo	Tubo	Vnulo	xsd:element	Prédios com coleta de esgoto

Fonte: O autor (2023)

4.6 Folha de **Indivíduos instanciados**

Nesta folhadeclaram-se as instâncias reais das classes definidas (Tabela 6). Destaca-se que enquanto as folhas das Tabelas 2, 3a,3b, 4 e 5 representam conteúdos ideais típicos e possíveis de um objeto urbano, as folhas das Tabelas 1 e 6 correspondem aos objetos concretos reais deum projeto ou sistema urbano.A inserção e extração ordenada desses valores é feita a partir dos parâmetros disponíveis dos modelos CAD-BIM-GIS que estejam sendo elaborados.

Tabela 6 – Indivíduos instanciados

A	B	C	D	E	G	H	I
N°	**Indivíduo**	**Classe**	**Facts 1A**	**Facts 1B**	**Facts 1C**	**Facts 1D**	**Facts 1E...**
1	TUB_5609	Tubo	Tem_Sistema	Verdadeiro	Vnulo	Vnulo	Vnulo
2	TUB_5609	Tubo	da_Rede_de	"deÁgua"	Vnulo	Vnulo	Vnulo
3	TUB_5609	Tubo	da_Empresa	"Águas do Rio"	Vnulo	Vnulo	Vnulo
4	TUB_5609	Tubo	do_Material	"FoFo"	Vnulo	Vnulo	Vnulo
5	TUB_5609	Tubo	Alimenta_a	[Lista logradouros ou ramais alimentados pelo tubo]	Vnulo	Vnulo	Vnulo

Fonte: O autor (2023)

5 CONCLUSÕES

O mecanismo construtor está sendo programado para integrar a intencionalidade humana com mecanismos algorítmicos e formais de raciocínio artificial. O objetivo do construtor de ontologias GIS é facilitar aos planejadores urbanos o trabalho de formulação da ontogênese do projeto, permitindo-lhes acoplar as características essenciais do projeto a sistemas de informação, de modo ordenado e integradocom bases de conhecimento existentes, pois ontologias são modulares e extensíveis por natureza. Como resultado, a aplicação gera arquivos OWL, legíveis por algoritmos e de fácil leitura por parte de agentes humanos. O código fonte desenvolvido e algumas ontologias OWL resultantes podem ser consultados em:*https://github.com/JLMenegotto/OntologiaBIM*

Os arquivos OWL gerados podem ser abertos em editores como o *Protégé*. Dentro desses editores, serão executados processos deverificaçãoda coerência ontológica e deverificação das inferências lógicas não declaradas. Após a fase de testes, os arquivos OWL podem ser publicados *on-line* e ficarem disponíveis para serem utilizados como bases de conhecimentos que servirão para diversospropósitos, alimentando novos algoritmos programados à medida e de acordo com usosespecíficos. Essa etapa do trabalho ainda não foi implementada. Ela depende da incorporação ordenada dediversos agentes de conhecimento (ABNT, SUS, CEDAE, Fabricantes etc.) dentro da infraestrutura logística de *Namespaces*da Web-Semântica.

REFERÊNCIAS

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

BEETZ, J.; LEEUWEN, J. V.; VRIES, B. IfcOWL: **A case of transforming EXPRESS schemas into ontologies.**Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing. v. 23, n. 1, p. 89-101, 2009. DOI: https://doi.org/10.1017/S0890060409000122

BERNERS-LEE, T. ***Linked Data.***2009.Disponível em:https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html. Acesso em: 30 nov, 2018.

BUS, N.; ROXIN, A.; PICINBONO, G.; FAHAD, M. **Towards French Smart Building Code: Compliance Checking Based on Semantic Rules Nicolas.** Proceedings of the 6th Linked Data in Architecture and Construction Workshop. London, United Kingdom, 2018.

GRUBER T. R. ***Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing***. International Journal Human-Computer Studies 43, p.907-928. Substantial revision of paper presented at the International Workshop on Formal Ontology, Padova, Italy, 1993.

HORRIDGE, M.; PATEL-SCHNEIDER, P. F. *OWL 2* ***Web Ontology Language Manchester Syntax (Second Edition)***. W3C Working Group Note 11, 2012.

LEVESQUE, H. J. **Foundations of a functional approach to knowledge representation.** Artificial Intelligence, 23, 155-212, 1984.

LIN L., LIU, Y., ZHU, H., YING, S., LUO, Q., LUO, H., KUAI, X., XIA, H., SHEN, H. **A bibliometric and visual analysis of global geo-ontology research.** Computers & Geosciences. Vol. 99, Feb. 2017.

SUN, K.; ZHU, Y.; PAN, P.; HOU, Z.; WANG, D.; LI, W. & SONG, J. **Geospatial data ontology: the semantic foundation of geospatial data integration and sharing.**Big Earth Data 2019, Vol. 3, N°3, 269–296.