

Ontologias

Alessandra Brito Fernandes de Oliveira
UERJ-IME-DICC

E-mail: alessandraoliveira1973@yahoo.com.br

Vera Maria Benjamim Werneck
UERJ-IME-DICC

E-mail: vera@ime.uerj.br

Resumo

Sistemas baseados em conhecimento não são sistemas simples de serem construídos. Cada etapa do desenvolvimento desses sistemas é essencial para a garantia da qualidade do produto final, porém a modelagem do conhecimento é a fase que exige uma atenção maior, pois, representar o conhecimento de um domínio de forma fiel e coerente é uma tarefa complexa que exige tempo e trabalho.

Ontologia de Domínio tem se mostrado uma metodologia eficaz na modelagem do conhecimento, cuja essência é o compartilhamento e a reutilização do conhecimento.

A ontologia tem suas raízes na filosofia e representa de forma explícita o conhecimento através de conceitos e relações que representam o entendimento de um grupo de pessoas que atuam no mesmo domínio.

Abstract

Knowledge based systems are not easy to built. Each development phase of these systems is essential for the final product quality assurance. However the knowledge model is the phase that requires more attention because it represents a knowledge domain in an accurate and coherent way and it is a complex task that needs time and a lot of work.

Domain ontology appears as an efficient methodology for knowledge modeling which is fundamental to knowledge sharing and reusing

Ontology has roots in philosophy its and represents knowledge in an explicit way through concepts and relations that represent the specific group of people's comprehension in that domain.

1. Introdução

A modelagem do conhecimento trata-se de uma das atividades mais trabalhosas, mais demoradas e de custo mais alto em qualquer contexto onde seja necessária sua utilização. Para modelar e tornar explícito o conhecimento é necessário utilizar formas coerentes de organização do conhecimento disponível. Somente após esta organização

é possível a utilização do conhecimento no desenvolvimento de software.

Adotando o paradigma da modelagem do conhecimento como aspecto central da Engenharia do Conhecimento, engenheiros do conhecimento entraram em um território anteriormente estudado somente por filósofos da ciência e da linguagem. Ao produto desta área inicialmente criada por Aristóteles, com seu abrangente sistema de classificação, taxonomização e de representação do conhecimento de forma geral, chamamos hoje de Ontologias.

Este artigo discute na seção 2 a conceituação de ontologia através da sua definição. Na seção 3 é apresentada uma classificação de ontologias. A construção de ontologias é abordada na seção 4 e na seção seguinte são descritas algumas linguagens de representação de ontologias. Na seção 5 são descritos alguns exemplos de ontologias. A seção 6 apresenta conclusões do artigo.

2. Definição de Ontologias

No sentido filosófico, o termo “ontologia” significa um sistema particular de categorias que versa sobre uma certa visão do mundo e pode ser visto como um sinônimo de metafísica. Seu propósito é classificar as entidades de uma porção da realidade, definindo seu vocabulário e as formulações canônicas de suas teorias [1]. É a ciência que estuda o ser e suas propriedades.

Na filosofia, ontologias são usadas com intuito de desvendar o significado e descrever as coisas do mundo. Entretanto na Inteligência Artificial, ontologias são usadas para descrever domínios já conhecidos onde é possível saber o significado projetado das coisas, buscando firmar um acordo sobre o vocabulário do domínio de interesse, a ser compartilhado por agentes que conversam sobre ele [2].

No mundo da ciência da computação, o interesse pela ontologia surgiu quando os engenheiros do conhecimento perceberam que nada valia a preocupação com mecanismos de representação do conhecimento (regras, frames, redes neurais, lógica fuzzy, etc) se não existisse um bom conteúdo e organização sobre o conhecimento do domínio em que se deseja trabalhar [3].

Na literatura existem várias definições para ontologias, e algumas delas seguem linhas de raciocínio diferentes.

Segundo GRUBER [4], ontologia é uma especificação explícita de uma conceituação. A conceituação é a organização do conhecimento em forma de entidades e a especificação é a representação dessa conceituação em uma forma concreta. Tudo que existe em um domínio pode ser representado, consistindo a ontologia de um vocabulário representacional com definições precisas do significado dos termos desse vocabulário mais um conjunto formal de axiomas escritos em linguagem natural, que posteriormente são formalizados em uma linguagem de formalização, que especificam a semântica dos termos da ontologia, restringindo a interpretação (axiomas ontológicos) e o uso desses termos (axiomas epistemológicos).

GUARINO e GIARRETA [5] discordam de Gruber e afirmam que ontologia é uma descrição parcial e explícita de uma conceituação. Segundo eles a ontologia tem dois propósitos: ser um sinônimo de teoria ontológica, ou seja, a conceituação deve ser considerada verdadeira, independentemente dos diferentes agentes que irão utilizá-la. Assim a ontologia terá uma conceituação independente dos valores particulares, porém poderá ser utilizada para estabelecer o compartilhamento de uma base de conhecimento particular. E ser um conjunto de compromissos ontológicos, onde serão desenvolvidas restrições rígidas de acordo com inferências particulares projetadas para serem compartilhadas por usuários que concordam previamente com a conceituação especificada.

Para FIKES e FARQUIHAR (1999), ontologia é uma teoria sobre um domínio que especifica um vocabulário de entidades, classes, propriedades, predicados, funções e um conjunto de relações que necessariamente amarram esses vocabulários. Esta definição é considerada completa porque define de forma explícita todos os conceitos especificados pela ontologia, de forma que essa definição possa ser compartilhada, restringindo o significado de alguns termos através de axiomas.

As pesquisas em ontologia estão tornando-se cada vez mais difundidas na comunidade da ciência da computação, e abrange todas as áreas de conhecimento. As utilidades de se dispor de uma conceituação formal de um domínio de conhecimento são várias e as ontologias, por esta razão, estão sendo usadas atualmente em muitos campos diferentes. Entre eles incluem-se os sistemas especialistas, o processamento de linguagem natural, a representação do conhecimento, a busca inteligente na Internet e o gerenciamento de conhecimento.

Apesar de existem várias definições de ontologias, porém qualquer que seja sua definição, a construção de uma ontologia sempre resultará em um vocabulário, que representará o entendimento consensual de um grupo de pessoas que atuam sobre um mesmo domínio [7].

3. Classificação de Ontologias

O uso de ontologias em IA tem crescido muito, sendo estas utilizadas de diferentes formas. Com base nesse conteúdo, ontologias podem ser classificadas segundo GUARINO [8]:

- Ontologias Genéricas – descrevem conceitos gerais, tais como espaço, tempo, matéria, objeto, evento, ação, etc., que são independentes de um domínio particular.

- Ontologias de Domínio – descrevem um vocabulário relacionado a um domínio genérico, expressando conceituações de domínios particulares.

- Ontologia de Tarefas – descrevem conceitos relacionados a tarefas ou atividades genéricas, independentes do domínio em que ocorram.

- Ontologias de Aplicação - descrevem conceitos que dependem tanto de um domínio específico como de uma tarefa específica, e geralmente é uma especialização de ambos. Estes conceitos freqüentemente correspondem a papéis desempenhados por entidades do domínio quando da realização de uma certa tarefa.

Outra distinção que GUARINO [8] faz é entre ontologias refinadas e não-refinadas, ou ainda, *off-line* e um vocabulário formal, ou seja, *on-line*. Uma ontologia não-refinada tem um número mínimo de axiomas e o seu objetivo é ser compartilhada por usuários que concordem sobre uma determinada visão de mundo. Uma ontologia refinada precisa de uma linguagem de alta expressividade e tem um grande número de axiomas. Ontologias não-refinadas têm mais chance de ser compartilhadas e deveriam ser usadas *on-line* para dar suporte à funcionalidade de sistemas de informação. Já as ontologias refinadas deveriam ser usadas *off-line* e somente para referência.

A classificação de ontologias segundo GUARINO [6] é bastante aceita, pois apresenta de maneira explícita, uma separação clara entre ontologia de domínio e de tarefa, conforme a figura 1.

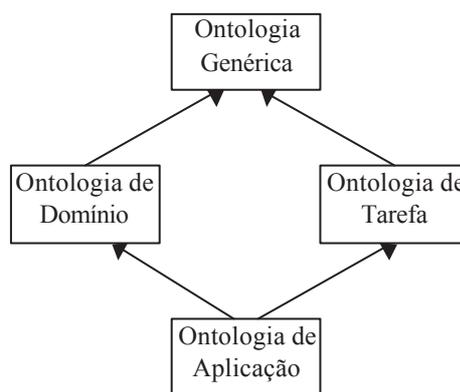


Figura 1 – Classificação de ontologias segundo [6]

4. Construção de Ontologias

Um dos objetivos da ontologia é capturar o conhecimento de um domínio de uma forma genérica e promover um entendimento compartilhado.

Em geral, qualquer que seja o domínio, a complexidade envolvida na construção de ontologias é grande. Logo, para facilitar o processo de construção, FALBO [2] propõe um mecanismo de decomposição, onde estas são decompostas em níveis.

Além do mecanismo de decomposição, a construção de ontologias deve dispor de alguns critérios que garantam a sua qualidade. Na literatura podemos encontrar diversos critérios que são considerados no projeto e avaliação de uma ontologia. A tabela 1 apresenta alguns dos critérios mais importantes.

O projeto e desenvolvimento de ontologias vêm deixando de ser uma arte, através do comprometimento de grupos de pessoas e o uso de metodologias, processos e métodos bem definidos para sua construção.

Algumas propostas de metodologias para construção de ontologias têm sido encontradas na literatura nos últimos anos, como “Metodologia Inicial” [9], METHONTOLOGY [10], TOVE [11], [2], LAL (Léxico Ampliado da Linguagem) [12].

O desenvolvimento de ontologias tem aumentado significativamente nos últimos anos, porém, cada grupo segue um conjunto de princípios, critérios de projeto e fases para o desenvolvimento, que são decorrentes da necessidade de definição destas em algum projeto específico. Sendo assim, a construção de ontologias, ainda não demonstram um processo suficientemente estruturado a ponto de ser reconhecido como uma verdadeira disciplina de engenharia. A arte tornar-se-á engenharia quando houver uma definição e padronização de um ciclo de vida, abrangendo desde a definição de requisitos até a manutenção do produto acabado, bem como métodos e técnicas que conduzam o desenvolvimento [10].

Basicamente, o processo de construção de ontologias abrange as seguintes etapas: identificação do propósito; especificação de requisitos; captura, formalização e integração com ontologias existentes; avaliação e documentação [2].

5. Linguagens de Representação de Ontologias

Existem várias propostas de linguagens para descrever ontologias como Flogic [13], OCML [14], Web-XML [15], OIL [16], RDF [17], a escolha de uma linguagem particular deve ser feita com base na sua adequação aos propósitos da representação da ontologia.

Tabela 1 – Critério para o projeto e avaliação de ontologias [7].

| Critério | Descrição |
|--|---|
| Clareza | Comunicar efetivamente o significado planejado dos termos definidos através de formalismos. As definições devem ser objetivas, completas, independentes do contexto social ou computacional, e documentadas em linguagem natural. |
| Coerência/ Consistência | Uma ontologia deve ser coerente, deve inferir sentenças consistentes com as definições. Caso uma sentença inferida a partir de axiomas, contradiga uma definição ou exemplo dado informalmente, então a ontologia é incoerente. As definições devem ser consistentes com o mundo real e umas com as outras. |
| Extensibilidade | Uma ontologia deve permitir que novos termos possam ser definidos, sem que os termos existentes sejam alterados. |
| Compromissos de implementação mínimos | A conceituação deve ser especificada no nível do conhecimento, sem depender de tecnologia particular de representação ou de codificação. |
| Compromissos ontológicos mínimos | Uma ontologia deve requerer o compromisso ontológico mínimo suficiente para dar suporte às atividades de compartilhamento de conhecimento desejadas. |
| Suporte | Apoiar o desenvolvimento de grandes aplicações |
| Generalidade | Ser capaz de ser compartilhada entre diferentes atividades como projeto e análise. |
| Concisão | Conter somente informações necessárias com definições concisas, evitando redundâncias formais e informais. |
| Completeness | Garantir a completude da definição formal e da definição informal |
| Robustez | Ser robusta de forma que pequenas mudanças não afetem o conjunto das definições já avaliadas. |

A linguagem de representação da ontologia independe dos tipos de dados e da linguagem de programação, porém deve envolver as seguintes primitivas: conceitos, funções, axiomas, instâncias e relações.

A seguir estão relacionadas algumas linguagens de representação:

- Lógica de Primeira Ordem – muito utilizada para representar ontologias. É uma linguagem geral, expressiva e que adiciona poucos compromissos ontológicos [18];
- KIF (*Knowledge Interchange Format*) [19] - é uma linguagem que facilita expressar os fatos de um domínio de conhecimento usando uma extensão a lógica de predicados de primeira ordem com termos funcionais e igualdade, e é comumente adotada na representação de ontologias. KIF foi construída para trabalhar como um meio de comunicação de conhecimento entre bases construídas usando diferentes linguagens;
- Ontolingua – sistema que tem propósito específico para expressar ontologias, baseado na linguagem KIF com extensões para definição de classes, relações e hierarquias de classe [19];
- CML (*Conceptual Modelling Language*) – linguagem gráfica semiformal (proposta dentro da metodologia CommonKADS), com construções adicionais para expressar tarefas, inferências e conhecimento de resolução de problemas, de acordo com a infra-estrutura epistemológica adotada por KADS [20];
- Description Logic – lógica projetada para enfocar categorias e suas definições. [21];
- LINGO (*Linguagem Gráfica para Ontologias*) – linguagem gráfica que tem representação formal explicitamente definida em lógica de primeira ordem [2].

6. Exemplo de Uso de Ontologias

6.1. Ontologia de Processo de Software

Buscando-se um consenso sobre o vocabulário e as restrições a serem consideradas para processos de software foi desenvolvida uma ontologia de processo de software na COPPE/UFRJ com o apoio de diversos especialistas em processo de software. Esta ontologia foi construída para apoiar a definição de processos de software num Ambiente de Desenvolvimento de Software, auxiliando o engenheiro de software a definir um processo, a partir de diretrizes, sugestões e opções fornecidas pelo sistema.

A Ontologia de Processos de Software [2], descreve conceitos e relações relacionados a informações como: as atividades a serem realizadas, recursos envolvidos, artefatos utilizados e consumidos, procedimentos para realização das atividades, dentre outras.

6.2. Ontologia de Domínio da Entomologia

A construção da Teoria do Domínio da Entomologia teve como motivação uma situação real existente na Embrapa Amazônia Oriental onde se verificou a necessidade da criação de bases de dados de diferentes domínios como um dos produtos principais de qualquer instituição de ciência e tecnologia, que deve considerar na sua construção, o conhecimento do domínio.

A Teoria do Domínio da Entomologia [22] define, estrutura e organiza conceitos e relações, através de ontologia de domínio, referentes às características morfológicas básicas, biológicas e comportamentais dos insetos, que são importantes para sua definição, manejo e controle, mas também, os conceitos que caracterizam as principais atividades desenvolvidas pelos entomólogos. Esta teoria tem como objetivo apresentar o conhecimento básico de Entomologia, necessário ao desenvolvimento das atividades do entomólogo.

6.3. Ontologia de Domínio da Cardiologia

A Teoria do Domínio da Cardiologia foi desenvolvida para apoiar o desenvolvimento de software no ambiente CORDIS [7]. Foi definida a partir do conhecimento de um cardiologista da UCCV/FBC, além de consultas da literatura específica. A Teoria do Domínio da Cardiologia é uma aproximação do domínio real que está sujeita a detalhamentos, porém estabelece um vocabulário comum no domínio da cardiologia, que facilita a comunicação entre diferentes participantes, ou seja, desenvolvedores, engenheiros do conhecimento, especialistas em cardiologia e usuários em geral.

A Teoria do Domínio da Cardiologia procura definir, hierarquizar e organizar conceitos que se referem a processos, cenários e práticas clínicas relacionadas a problemas cardíacos.

6.4. SIG Baseado em Ontologias

Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são sistemas com uma enorme quantidade de dados relativos ao planeta Terra. Estes dados vêm, não só de novos sistemas de informação geográficos (SIG), mas também de satélites novos e cada vez mais sofisticados.

No SIG baseado em ontologias, as ontologias são representadas em uma estrutura formal baseada em RODRIGUEZ [23], que descreve ontologias através seus componentes: partes, funções e atributos. Esta estrutura considera mais a robustez da implementação [24], já que não é direcionada a ser usada em sistemas de dedução automática e sim para extração e manipulação de informações. Em CRANFIELD [25] pode ser encontrada uma discussão completa sobre as formas de armazenamento de ontologias de acordo com o uso pretendido. As ontologias são organizadas em uma estrutura hierárquica, que é considerada uma das melhores formas de se representar o mundo geográfico [26] [27]. O

mapeamento das entidades presentes nas ontologias para componentes de software é feito usando-se técnicas de orientação a objeto e herança múltipla. Este tipo de mapeamento permite integração parcial de informações quando uma integração completa não é possível. Este sistema permite ainda o reaproveitamento de classes já desenvolvidas, incorporando, assim, nos novos sistemas, o conhecimento existente em outros SIGs.

Um SIG baseado em ontologias é composto por um editor de ontologias, por um servidor de ontologias, por ontologias especificadas formalmente e por classes derivadas de ontologias. A especificação de ontologias é feita através do uso de um editor de ontologias. No caso do SIG baseado em ontologia, será usado um novo editor de ontologias, que traduz e implementa as classes derivadas das ontologias em Java. O editor a ser implementado também será capaz de ler e escrever ontologias em XOL [28], uma linguagem que foi criada para o facilitar o compartilhamento de ontologias e é baseada em *Extensible Markup Language* (XML) [29].

O uso de ontologias nos sistemas de informações geográficos, ajuda a descobrir certas distorções presentes nos processos cognitivos de apreensão do mundo geográfico; Fornece padrões para o desenvolvimento de SIGs; Permite estabelecer correspondências e relações entre os diferentes domínios de entidades espaciais; contribui para uma melhor qualidade do produto final; supera a metáfora de mapas, que apresenta o mundo como camadas superpostas e independentes.

6.5. Ontologia TAMBIS (TaO)

TAMBIS é um projeto de pesquisa em desenvolvimento que possibilita, a partir da sua interface, consultas a diversos bancos de dados por meio da ontologia chamada Tambis Ontology (TaO). A TaO é uma bio-ontologia que foi modelada depois de uma pesquisa sobre quais eram as questões levantadas pelos biólogos ao consultar os bancos de dados [30].

A TaO visa capturar o conhecimento da biologia e bioinformática em um framework conceitual lógico construído de maneira que somente conceitos sensivelmente biológicos sejam classificados corretamente, que tenha suporte a diferentes visões do usuário e que seja computacionalmente acessível.

A TaO consiste em 1800 conceitos e o relacionamento entre eles, enfocando proteínas e ácidos nucleicos (e seus filhos – DNA, RNA, gene, enzima, etc) e pode ser dividida em alto e baixo nível, este último contém os conceitos necessários para representar a descrição do usuário.

6.6. Molecular Biology Ontology - MBO

A MBO proposta por Schulze-Kremer [31] [32], tem seu foco na interoperabilidade entre bancos de dados

moleculares, que armazenam os mesmos teores de dados, mas com soluções diferentes. A ontologia para Biologia Molecular preocupa-se em prover transparência e comunicação entre os bancos de dados.

A ontologia para biologia molecular objetiva evitar a confusão semântica, através de uma lista de conceitos coerentemente definidos mais importantes e mais usados da biologia molecular.

Esta ontologia não ambiciona a cobertura de todo o conhecimento da biologia molecular e nem explicar cada fenômeno biológico, mas coletar todos os tipos de entidades que os biólogos moleculares fazem uso na sua vida profissional, agrupando-os em hierarquias.

6.7. Ontologia de Geometria Descritiva

A Ontologia de Geometria Descritiva [33] foi desenvolvida, com a finalidade de dar suporte ao desenvolvimento de um Sistema Tutor, no contexto de um projeto maior que envolve a construção de um ambiente *on-line*, flexível e inteligente, de aprendizagem de Geometria Descritiva (GD).

Uma modelagem inicial dos objetos e conceitos básicos de GD foi feita utilizando-se o software Protégé-2000. Este programa permite representar a hierarquia (relação *isa* (é um) que define a relação de classe/subclasse) de conceitos do domínio (ex: elemento → geométrico → reta → reta horizontal → reta fronto horizontal → linha de terra), incluindo herança múltipla. Chamou-se de objetos abstratos as classes e subclasses e de objetos concretos uma instância (relação *instance-of*) de uma classe/subclasse.

A ontologia de GD foi projetada para estar em constante evolução, durante o desenvolvimento do ambiente de ensino/aprendizagem de GD. E mesmo após a finalização do tutor, a ontologia continuará evoluindo, pois se trata de um modelo responsável por captar e registrar todo o conhecimento explícito ou implicitamente contido no acervo da Biblioteca de Exercícios de GD.

6.8. Ontologia de Gestão de Processo e Ontologia de Telecomunicações

As Ontologias de Gestão de Processo e de Redes de Telecomunicações foram definidas a partir da necessidade de um modelo de gerência para processo de ativação dos produtos de uma empresa de telecomunicações [34]. Esses processos são realizados por pessoas de diferentes localidades, necessitando, portanto, de uma definição clara dos seus procedimentos e terminologias, de forma que as mudanças não afetem sua produtividade.

A Ontologia de Gestão de Processo descreve explicitamente todos os conceitos envolvidos na definição de um processo de ativação da empresa a serem coordenados ou gerenciados. O principal objetivo da Ontologia de Gestão de Processo é apoiar o levantamento

dos processos de ativação, a partir das informações que um processo deve ter, e a validação e melhoria contínua dos processos.

A Ontologia de Redes de Telecomunicações refere-se à padronização da terminologia de redes de telecomunicações e abrangem conceitos sobre serviços, redes, equipamentos, transmissão e acesso.

7. Conclusões

O uso de ontologias na área da Ciência da Computação tem crescido em grande escala, e têm sido aplicadas em diferentes domínios. Especificação de domínios, integração de bases de conhecimentos, busca em uma base de informações (documentos e Internet), são algumas das aplicações. Porém, qualquer que seja o objetivo da ontologia, ela constituirá de uma definição do conhecimento do domínio, através de conceito e relações relacionados a esse domínio.

O uso de ontologias proporciona muitas vantagens [35], [36], [37]. Tornar possível um melhor entendimento em uma certa área de conhecimento, viabilizar a interoperabilidade de sistemas, possibilitar o compartilhamento e o reuso de informações, são alguns dos principais benefícios no uso de ontologias.

Apesar de todas as vantagens citadas, o uso de ontologias também apresenta alguns problemas. Segundo O'LEARY [38], a escolha de uma ontologia é um processo político, logo pode não se adequar a todos os indivíduos ou grupos; Ontologia tem que ser evolutivas, porém poucos trabalhos enfocam esta evolução; A extensão de ontologias não é um processo direto, pois estas geralmente são estruturadas de maneira precisa, e são particularmente vulneráveis a questões de extensão; A noção de bibliotecas de ontologias sugere uma relativa independência entre diferentes ontologias, logo elas podem não se integrar efetivamente com outras por problemas desde a similaridade de vocabulário até visões conflitantes do mundo.

O pior problema é quanto a metodologias de construção de ontologias, pois existem poucos trabalhos publicados abordando este assunto, gerando assim a ausência de atividades padronizadas, ciclos de vida, métodos sistemáticos, critérios de qualidade, técnicas e ferramentas de forma que a construção de ontologias não seja ainda considerada uma atividade de Engenharia [2].

8. Referências

[1] SMITH, B. *Ontology: Philosophical and Computation*. Draft: Jul. 2000.

[2] FALBO, R.A. *Integração de Conhecimento em um Ambiente de Desenvolvimento de Software*, 1998. Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

[3] CHANDRASEKARAN, B.; JOSEPHSON, J. R.; BENJAMINS, V. R. *What are ontologies, and why do we need them?* IEEE Intelligent Systems, p.20-25, Jan./Feb. 1999.

[4] GRUBER, T.R., 1995, "Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing", *Int. J. Human-Computer Studies*, v. 43, n.5/6.

[5] GUARINO, N.; GIARRETA, P., 1995, "Ontologies and Knowledge Bases – Towards a Terminological Clarification", In: Mars, n. j., (ed.), *Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing*, IOS Press, Amsterdam, pp 25-32.

[6] FIKES R. e FARQUHAR, A., 1999, "Distributed Repositories of Highly Expressive Reusable Ontologies", IEEE Intelligent Systems & their applications, v. 14, n. 2. Mar/Apr, pp. 73-79.

[7] OLIVEIRA, K.M. *Modelo para Construção de Ambientes de Desenvolvimento de Software Orientados a Domínio*. 1999. Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

[8] GUARINO, N. "Formal Ontology and Information System", In: Guarino, n. (ed) *Formal Ontology in Information System*, pp 3-15, IOS Press, 1998.

[9] USCHOLD, M.; KING, M., 1995, "Towards a Methodology for Building Ontologies", In: *Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, IJCAI'95*.

[10] FERNÁNDEZ, M.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; JURISTO N., 1997, "METHODODOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering", In: *Proceedings of AAAI97 Spring Symposium Series – Ontological Engineering*, pp 25-32, Stanford University, EUA, Mar.

[11] USCHOLD, M.; GRUNINGER, M., 1996, "Ontologies: principles, methods and applications", *The Knowledge Engineering Review*, v. 11:2, pp. 93-136.

[12] LEITE, J.C.S.P.; BREITMAN, K.K. "Ontologias: O que são e como desenvolvê-las", In: *The 17th Brazilian Symposium on Software Engineering-SBES 2003*. Disponível [Online] em http://sbes.fua.br/inenglish/paginaseng/sbes_tutorial.htm#4, 28 de Agosto de 2003.

[13] KIFER, M.; LAUSEN, G.; WU, J. "Logical Foundations of Object-Oriented and Frame-Based Languages", *Journal of the ACM*, 1995.

[14] MOTTA, E. *Reusable Components for Knowledge Modelling*. IOS Press. Amsterdam, 1999.

[15] BRAY, T.; PAOLI, J.; SPERBERG, C. *Extensible Markup Language (XML) 1.0. W3C Recommendation*. Fev. 1998.

[16] FENSEL, D.; HORROCKS, I.; HARMELEN, F.V. et al., "OIL in a Nutshell", *Workshop on Applications of Ontologies and Problem-Solving Methods – In: ECAI-00*, Berlim, Alemanha, Ago., pp 4.1-4.12, 2000.

[17] BRICKLEY, D. e GUHA, R.V. *Resource Description Framework (RDF) Schema Specification*. W3C Proposed Recommendation. Mar. 1999.

[18] VALENTE, A., 1995, *Legal Knowledge Engineering – A Modeling Approach*. IOS Press.

[19] GRUBER, T.R., 1992, *Ontolingua: A mechanism to support portable ontologies, version 3.0*. Technical Report, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, California.

[20] BREUKER, J.; VAN DE VELDE, W. 1994, *CommonKADS Library for Expertise Modelling*, IOS Press.

[21] RUSSEL, S.; NORVIG, P., 1995, *Artificial Intelligence – A Modern Approach*, Prentice Hall Series in AI.

- [22] FOURO, A.M.M. Apoio à Construção de Base de Dados de Pesquisa em Ambientes de Desenvolvimento de Software Orientados a Domínio. 2001. Tese M.Sc. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- [23] RODRIGUEZ, A., 2000, *Assessing Semantic Similarity among Spatial Entity Classes*. University of Maine, Orono.
- [24] GUARINO, N., MASOLO, C. and VETERE, G. (1999) OntoSeek: Content-Based Access to the Web. *IEEE Intelligent Systems* 14(3): 70-80.
- [25] CRANFIELD, S. and PURVIS, M. (1999), UML as an Ontology Modelling Language. In: *Workshop on Intelligent Information Integration, 16th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, D. Fensel, (Ed.), Stockholm.
- [26] SMITH, B., 1995, On Drawing Lines on a Map. In: A. Frank and W. Kuhn, (Eds.), *Spatial Information Theory—A Theoretical Basis for GIS, International Conference COSIT '95, Semmering, Austria. Lecture Notes in Computer Science* 988, pp. 475-484, Springer Verlag, Berlin.
- [27] HARVEY, F.; BUTTENFIELDS, B.; LAMBERT, S. Integrating Geodata Infrastructures from the Ground Up. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 65(11): 1287-1291. 1999.
- [28] KARP, P.; CHAUHDRI, V.; THOMERE, J., 1999, XOL: an XML-based Ontology Exchange Language. Artificial Intelligence Center SRI International, Menlo Park, CA, Technical Report.
- [29] GRAHAM, I. and QUIN, L. (1999) XML Specification Guide. John Wiley & Sons, New York.
- [30] BAKER, P.G.; BRASS, A.; BECHHOFFER, S.; GOBLE, C.; PATON, N.; STEVENS, R. TAMBIS: Transparent Access to Multiple Bioinformatics Information Sources, 1998. Disponível [Online] em <http://www.geneontology.org>, 28 de Agosto de 2003.
- [31] SCHULZE-KREMER, S. Integrating and Exploiting Large-Scale, Heterogeneous and Autonomous Databases with an Ontology for Molecular Biology, 1997.
- [32] SCHULTZE-KREMER, S. Ontologies for Molecular Biology. Proceedings of the Third Pacific Symposium on Biocomputing, Hawaii, World Scientific Publishers, Singapor, 693-704, 1998.
- [33] BARROS, L. N.; SANTOS, E. T. Um Estudo da Modelagem do Domínio de Geometria Descritiva para a Construção de um Sistema Tutor Inteligente. In: *XI Simpósio Brasileiro de Informática Educativa (SBIE'2000)*, Anais. Maceió-AL, Nov. 2000. p. 259-66.
- [34] FALBO, R.A.; OLIVEIRA, K.M. Minicurso: Apoiando a Engenharia e Gerência de Sistemas Organizacionais através de Ontologias. In: *XV Simpósio de Engenharia de Software/SBES*. Out. 2001. Rio de Janeiro, Brasil.
- [35] VALENTE, A.; RUSS, T.; MACGREGOR, R. et al., 1999, "Building and (re)Using an Ontology of Air Campaign Planning", *IEEE Intelligent Systems & their applications*, vol. 14, n. 1, Jan/Feb, pp. 27-36.
- [36] LÓPEZ, M.F.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; PAZOS SIERRA, J. et al., 1999, "Building a Chemical Ontology Using Methontology and the Ontology Design Environment". *IEEE Intelligent Systems & their applications*, v. 14, n. 1, Jan/Feb, pp. 37-44.
- [37] MELLO, R.S.; HEUSER, C.A. "Aplicação de Ontologias a Dados Semi-Estruturados" In: *CLEI 2000*. México, Actas, ITESM E HEUSER, 2000.
- [38] O'LEARY, D.E., 1997, "Impediments in the use of explicit ontologies for KBS development", *Int. J. Human-Computer Studies*, v. 46, n. 2/3.