

Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e de construção

Mauricio B. Almeida

Mestre em Ciência da Informação
Professor assistente da PUC Minas
E-mail: mba@pucminas.br

Marcello P. Bax

Doutor em Ciência da Computação
Professor Adjunto da ECI – UFMG
E-mail: bax@ufmg.br

Resumo

Os estudos sobre a organização da informação têm recebido cada vez mais importância à medida que o número crescente de fontes de dados disponíveis dificulta a recuperação da informação. Nos últimos anos, vários trabalhos têm destacado o uso de ontologias como alternativa para a organização da informação. Este artigo objetiva proporcionar uma visão geral sobre o estado-da-arte no estudo de ontologias. Apresentam-se definições para o termo, uma breve discussão sobre seu significado, tipos de ontologias, propostas para aplicações em diferentes domínios de conhecimento e propostas para a construção de ontologias (metodologias, ferramentas e linguagens).

Palavras-chave

Ontologias; Organização da informação.

An overview about ontologies: survey about definitions, types, applications, evaluation and building methods

Abstract

Researches on the organization of information have received more and more emphasis as the increased number of available data sources has compromised the retrieval of information. In the past few years, several studies have emphasized the use of ontologies as an alternative to information organization. This paper seeks to provide an overview of the state-of-the-art approaches regarding ontologies. Definitions and a brief discussion about the sense of the term are presented, as well as types of ontologies, proposals of applications in different knowledge domains and suggestions for the building up of ontologies (methodologies, tools and languages).

Keywords

Ontologies; Information organization.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aumento exponencial dos dados disponíveis tem conferido importância significativa às técnicas de organização da informação. Essas técnicas fazem parte de um corpo de disciplinas que busca melhorias no tratamento de dados, atuando na sua seleção, no seu processamento, na sua recuperação e na sua disseminação.

Diversos tipos de estruturas são utilizados na organização da informação. Estruturas que se organizam a partir da utilização de termos são os *arquivos de autoridade*, *glossários* e *dicionários*. Estruturas que se organizam com a classificação e a criação de categorias são os *cabeçalhos de assunto* e os *esquemas de classificação* (ou *taxonomias*). As estruturas que se organizam a partir de conceitos e de seus relacionamentos são as *ontologias*, os *thesaurus* e as *redes semânticas*.

Nos últimos anos, uma abordagem que tem recebido atenção é a utilização de ontologias na organização do conteúdo das fontes de dados. Uma ontologia é criada por especialistas e define as regras que regulam a combinação entre termos e relações em um domínio do conhecimento. Os usuários formulam consultas usando conceitos definidos pela ontologia. O que se busca, em última instância, são melhorias nos processos de recuperação da informação.

Ontologias são utilizadas hoje em diversas áreas para organizar a informação (Bateman, 1996; Borgo *et alii*, 1997; Aguado *et alii*, 1998; Domingue, 1998; Hasman *et alii*, 1999; Shum; Motta & Domingue, 2000; Leger *et alii*, 2000; Kalfoglou, 2001; Vázquez, Valera & Bellido, 2001; Gandon, 2001; Martin & Eklund, 2001; Alexaki *et alii*, 2002). São encontradas na literatura diversas definições para as ontologias, diversos tipos, propostas para aplicação em diferentes áreas de conhecimento e propostas para a construção de ontologias (metodologias, ferramentas e linguagens). Tal diversidade tem dificultado a escolha e a utilização das técnicas disponíveis para a manipulação de ontologias na organização da informação.

O objetivo desse artigo é sistematizar as principais contribuições, proporcionando uma visão geral do estado-da-arte em ontologias. A pesquisa sobre projetos,

metodologias, ferramentas, linguagens e métodos de avaliação apresentada não tem a pretensão de abordar todas as iniciativas existentes. Apesar da preocupação em cobrir os itens mais representativos descritos recentemente na literatura, este estudo não é exaustivo. Por conter muitas abordagens, o trabalho não se aprofunda em nenhuma delas, descrevendo-as sinteticamente.

Este artigo está organizado conforme segue: introdução das ontologias e estudo das diferentes definições, conceitos básicos, características e tipos de ontologias; apresentação de uma pesquisa sobre o uso de ontologias, destacando projetos, repositórios e ontologias conhecidas; abordagem da construção de ontologias, apresentando-se metodologias, ferramentas e linguagens, além de métodos para a avaliação dos resultados; finalmente, apresentação das conclusões e indicação de direções para trabalhos futuros.

ONTOLOGIAS: DEFINIÇÕES, CONCEITOS BÁSICOS E TIPOS

Definições e conceitos básicos

Historicamente o termo ontologia tem origem no grego “*ontos*”, ser, e “*logos*”, palavra. O termo original é a palavra aristotélica “*categoria*”, que pode ser usada para classificar alguma coisa. Aristóteles apresenta categorias que servem de base para classificar qualquer entidade e introduz ainda o termo “*differentia*” para propriedades que distinguem diferentes espécies do mesmo gênero. A conhecida técnica de herança é o processo de mesclar *differentias* definindo categorias por gênero.

Em seu sentido filosófico, trata-se de um termo relativamente novo, introduzido com o objetivo de distinguir o estudo do ser como tal. O *Dicionário Oxford de Filosofia* define ontologia como “[...] o termo derivado da palavra grega que significa ‘ser’, mas usado desde o século XVII para denominar o ramo da metafísica que diz respeito àquilo que existe” (Blackburn & Marcondes, 1997).

O termo ontologia tem um sentido especial em organização da informação, diferente daquele tradicional adotado na filosofia. São diversas as definições apresentadas na literatura e existem contradições.

De forma simples, para elaborar ontologias, definem-se categorias para as coisas que existem em um mesmo domínio. Ontologia é um “catálogo de tipos de coisas” em que se supõe existir um domínio, na perspectiva de uma pessoa que usa uma determinada linguagem (Sowa, 1999). Trata-se de “uma teoria que diz respeito a tipos de entidades e, especificamente, a tipos de entidades abstratas

que são aceitas em um sistema com uma linguagem” (Merriam-Webster; Gove, 2002* *apud* Corazzon, 2002, p. 1).

Uma das definições mais conhecidas para ontologias é apresentada por Gruber (1996),** *apud* Corazzon, 2002, p. 1:

“Uma ontologia é uma especificação explícita de uma conceitualização. [...] Em tal ontologia, definições associam nomes de entidades no universo do discurso (por exemplo, classes, relações, funções etc. com textos que descrevem o que os nomes significam e os axiomas formais que restringem a interpretação e o uso desses termos) [...]”

O termo *conceitualização* corresponde a uma coleção de objetos, conceitos e outras entidades que se assume existirem em um domínio e os relacionamentos entre eles (Genesereth & Nilsson, 1987). Uma conceitualização é uma visão abstrata e simplificada do mundo que se deseja representar.

A definição proposta por Gruber é discutida em Guarino & Giaretta (1995)***, *apud* Corazzon, 2002, p. 1:

“[...] um ponto inicial nesse esforço de tornar claro o termo será uma análise da interpretação adotada por Gruber. O principal problema com tal interpretação é que ela é baseada na noção conceitualização, a qual não corresponde à nossa intuição. [...] Uma conceitualização é um grupo de relações extensionais descrevendo um ‘estado das coisas’ particular, enquanto a noção que temos em mente é uma relação intensional, nomeando algo como uma rede conceitual a qual se superpõe a vários possíveis ‘estados das coisas’.”

Uma definição *intensional* consiste de uma lista de características do conceito. Por exemplo, lâmpada incandescente é a lâmpada elétrica que emite luz a partir do aquecimento de um filamento pela corrente elétrica. A lâmpada incandescente é definida como o auxílio do gênero mais próximo (lâmpada elétrica) e de suas características. Uma definição *extensional* é uma enumeração de aspectos de todas as espécies que são do mesmo nível de abstração. Por exemplo, os planetas do sistema solar são Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e Plutão (*ISO-Standard 704*).

* MERRIAM-WEBSTER; GOVE, P. B. Webster's Third New International Dictionary. Unabridged. New York: Merriam-Webster, 2002. 2.783 p.

** GRUBER, T. (1996). What is an Ontology? Disponível em: <<http://www.ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>>. Acesso em: 14 set. 2002.

*** GUARINO, N.; GIARETTA, P. (1995). Ontologies and KBs, towards a terminological clarification. Disponível em: <<http://www.ladseb.pd.cnr.it/infor/Ontology/Papers/KBKS95.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2002.

Guarino (1998) revê a definição de conceitualização fazendo uso do aspecto intensional, para obter uma interpretação mais satisfatória:

“[...] ontologia se refere a um artefato constituído por um vocabulário usado para descrever uma certa realidade, mais um conjunto de fatos explícitos e aceitos que dizem respeito ao sentido pretendido para as palavras do vocabulário. Este conjunto de fatos tem a forma da teoria da lógica de primeira ordem, onde as palavras do vocabulário aparecem como predicados unários ou binários.”

O vocabulário formado por predicados lógicos forma a rede conceitual que confere o caráter intensional às ontologias. A ontologia define as regras que regulam a combinação entre os termos e as relações. As relações entre os termos são criadas por especialistas, e os usuários formulam consultas usando os conceitos especificados. Uma ontologia define assim uma “linguagem” (conjunto de termos) que será utilizada para formular consultas.

Borst (1997, p. 12) apresenta uma definição simples e completa, que será adotada neste trabalho: “Uma ontologia é uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada”. Nessa definição, “formal” significa legível para computadores; “especificação explícita” diz respeito a conceitos, propriedades, relações, funções, restrições, axiomas, explicitamente definidos; “compartilhado” quer dizer conhecimento consensual; e “conceitualização” diz respeito a um modelo abstrato de algum fenômeno do mundo real.

Discussões podem ser encontradas em Guarino & Giaretta (1995), que apresentam diferentes sentidos para o termo em relação a níveis de abstração. Outras definições para o termo são encontradas em Albertazzi (1996), Neches *et alii* (1991), Wache *et alii* (2001), Uschold & Gruninger (1996) e Chandrasekaran, Johnson & Benjamins (1999). Para uma discussão detalhada, considerações e críticas, ver Guarino (1996) e Guarino (1998). Ozkural (2001) refere-se a ontologias como uma teoria de classificação.

Mesmo sem um consenso sobre sua definição, as ontologias apresentam características comuns. A seção seguinte apresenta as principais características das ontologias e uma breve revisão de literatura sobre como podem ser classificadas.

Características e tipos de ontologias

As ontologias não apresentam sempre a mesma estrutura, mas existem características e componentes básicos comuns presentes em grande parte delas. Mesmo apresentando propriedades distintas, é possível identificar tipos bem definidos.

Os componentes básicos de uma ontologia são classes (organizadas em uma taxonomia), relações (representam o tipo de interação entre os conceitos de um domínio), axiomas (usados para modelar sentenças sempre verdadeiras) e instâncias (utilizadas para representar elementos específicos, ou seja, os próprios dados) (Gruber, 1996; Noy & Guinness, 2001).

Algumas das propostas definem tipos de ontologias relacionando-as à sua função (Mizoguchi, Vanwelkenhuyzen & Ikeda, 1995), ao grau de formalismo de seu vocabulário (Uschold & Gruninger, 1996), à sua aplicação (Jasper & Uschold, 1999) e à estrutura e conteúdo da conceitualização (Van-Heijst, Schreiber & Wielinga, 1997), (Haav & Lubi, 2001). A tabela 1, a seguir, sintetiza cada abordagem.

Mesmo sem um consenso, observa-se que os tipos apresentados guardam semelhanças entre suas funções. Conhecidos os principais tipos e características, pode-se buscar ontologias existentes adequadas à utilização desejada. A seção seguinte apresenta uma pesquisa sobre a utilização de ontologias em diversos projetos citados na literatura, além de repositórios e ontologias conhecidas.

PESQUISA SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ONTOLOGIAS

Projetos que fazem uso das ontologias

Ontologias são utilizadas em projetos de domínios como gestão do conhecimento, comércio eletrônico, processamento de linguagens naturais, recuperação da informação na *Web*, de cunho educacional, entre outros. As tabelas 2, 3, 4, 5 e 6, a seguir, apresentam exemplos de projetos que utilizam ontologias e uma descrição sintética.

Exemplos de ontologias e repositórios de ontologias

Existem ontologias disponíveis para uso ou para modelar a construção de outras ontologias. Na sequência, as tabelas 7, 8, 9 e 10, a seguir, apresentam exemplos dessas ontologias e uma descrição sintética de cada uma delas. A tabela 11, a seguir, apresenta alguns repositórios de ontologias disponíveis na Internet.

CONSTRUINDO ONTOLOGIAS: METODOLOGIAS, FERRAMENTAS, LINGUAGENS E AVALIAÇÃO

Metodologias

Metodologias têm sido desenvolvidas no intuito de sistematizar a construção e a manipulação de ontologias (López, 1999). Existem metodologias para a construção de ontologias, para construção de ontologias em grupo,

TABELA 1
Tipos de ontologias

Abordagem	Classificação	Descrição
Quanto à função Mizoguchi, Vanwelkenhuysen & Ikeda (1995)	Ontologias de domínio	Reutilizáveis no domínio, fornecem vocabulário sobre conceitos, seus relacionamentos, sobre atividades e regras que os governam.
	Ontologias de tarefa	Fornecem um vocabulário sistematizado de termos, especificando tarefas que podem ou não estar no mesmo domínio.
	Ontologias gerais	Incluem um vocabulário relacionado a coisas, eventos, tempo, espaço, casualidade, comportamento, funções etc.
Quanto ao grau de formalismo Uschold & Gruninger (1996)	Ontologias altamente informais	Expressa livremente em linguagem natural.
	Ontologias semi-informais	Expressa em linguagem natural de forma restrita e estruturada.
	Ontologias semiformais	Expressa em uma linguagem artificial definida formalmente.
	Ontologia rigorosamente formal	Os termos são definidos com semântica formal, teoremas e provas.
Quanto à aplicação Jasper & Uschold (1999)	Ontologias de autoria neutra	Um aplicativo é escrito em uma única língua e depois convertido para uso em diversos sistemas, reutilizando-se as informações.
	Ontologias como especificação	Cria-se uma ontologia para um domínio, a qual é usada para documentação e manutenção no desenvolvimento de <i>softwares</i> .
	Ontologias de acesso comum à informação	Quando o vocabulário é inacessível, a ontologia torna a informação inteligível, proporcionando conhecimento compartilhado dos termos.
Quanto à estrutura Haav & Lubi (2001)	Ontologias de alto nível	Descrevem conceitos gerais relacionados a todos os elementos da ontologia (espaço, tempo, matéria, objeto, evento, ação etc.) os quais são independentes do problema ou domínio.
	Ontologias de domínio	Descrevem o vocabulário relacionado a um domínio, como, por exemplo, medicina ou automóveis.
	Ontologias de tarefa	Descrevem uma tarefa ou atividade, como, por exemplo, diagnósticos ou compras, mediante inserção de termos especializados na ontologia.
Quanto ao conteúdo Van-Heijst, Schreiber & Wielinga (2002)	Ontologias terminológicas	Especificam termos que serão usados para representar o conhecimento em um domínio (por exemplo, os léxicos).
	Ontologias de informação	Especificam a estrutura de registros de bancos de dados (por exemplo, os esquemas de bancos de dados).
	Ontologias de modelagem do conhecimento	Especificam conceitualizações do conhecimento, têm uma estrutura interna semanticamente rica e são refinadas para uso no domínio do conhecimento que descrevem.
	Ontologias de aplicação	Contêm as definições necessárias para modelar o conhecimento em uma aplicação.
	Ontologias de domínio	Expressam conceitualizações que são específicas para um determinado domínio do conhecimento.
	Ontologias genéricas	Similares às ontologias de domínio, mas os conceitos que as definem são considerados genéricos e comuns a vários campos.
	Ontologias de representação	Explicam as conceitualizações que estão por trás dos formalismos de representação do conhecimento.

TABELA 2
Projetos relacionados à gestão do conhecimento

Projetos	Breve descrição
<i>CoMMA (Corporate Memory Management through Agents)</i>	A memória corporativa é descrita como "Web semântica corporativa," e o resultado é uma ontologia; utiliza agentes inteligentes para construir uma arquitetura de informação distribuída e agentes locais por meio dos quais os usuários acessam os recursos disponíveis (Gandon, 2001).
<i>Marchmont Observatory Semantic Search Service</i>	Projeto relacionado à educação continuada, consiste de um portal onde são construídas ontologias associadas à educação. Estas ontologias indexam um banco de dados de "melhores práticas" com sumários sobre educação (Domingue, 1998).
<i>MGT (Medical Guideline Technology)</i>	Adequada para uso na Web, a ferramenta constrói uma hierarquia de ontologias médicas e de suporte, as quais podem ser integradas ao banco de dados de um paciente (Hasman et alii, 1999).
<i>MyPlanet</i>	Serviço personalizado para a Web, onde o usuário submete um e-mail sobre seus interesses de pesquisa; este e-mail é adaptado a estruturas ontológicas, e uma página da Web é produzida; os usuários são notificados sobre o assuntos de seu interesse (Kalfoglou, 2001).
<i>PatMan</i>	Projeto da área de saúde que trata de questões médicas e administrativas no gerenciamento de pacientes; possui um fórum para discussões e um motor de consultas baseado em ontologias; possibilita recuperar conhecimento sobre determinado assunto médico (Motta, Buckingham-Shum & Domingue, 2000).
<i>PlanetOnto</i>	Possui um servidor de notícias para a Web que facilita a comunicação em empresas; à medida que o arquivo de notícias no servidor torna-se maior, ocorrem problemas de gestão (semântica, recuperação de informação, personalização etc.). Um conjunto de ferramentas chamado PlanetOnto permite representar formalmente os documentos utilizando-se ontologias (Domingue & Motta, 1999).

TABELA 3

Projetos relacionados a comércio eletrônico

Projeto	Breve descrição
<i>MKBEEM (Multilingual Knowledge Based European Electronic Marketplace)</i>	Proporciona habilidades multilingüísticas ao fluxo de informação em portais B2C (<i>Business-to-consumer</i>); permite manutenção semi-automática de catálogos de produtos, tradução automática e interpretação da linguagem natural nas requisições de usuários; a interatividade é obtida com o uso de serviços de navegação e entradas em linguagem natural (Leger <i>et alii</i> , 2000).
<i>SMART-EC (Smart-EC Support for Mediation And brokering for Electronic Commerce)</i>	Plataforma de intermediação baseada em ontologias que fornece serviços para a Internet, como troca de informações entre provedores e usuários finais, definição e implementação de ciclo de vida de serviços e a possibilidade de compras em diversos <i>sites</i> a partir de interface única (Vázquez, Valera & Bellido, 2001).

TABELA 4

Projetos relacionados ao processamento de linguagens naturais

Projeto	Breve descrição
<i>Oncoterm</i>	Facilita a tradução de textos médicos sobre oncologia mediante uma ontologia baseada em textos especializados e dicionários médicos; os conceitos são organizados em categorias e representados por esquemas (Moreno & Hernández, 2000).
<i>Gazelle</i>	Traduz textos japoneses, árabes e espanhóis para o inglês; inclui processamento e análise semântica das línguas, geração de sentenças em inglês, construção de ontologias interlíngua e criação de léxicos para japonês, árabe, espanhol e inglês (Germann, 1998).
<i>Mikrokosmos</i>	Mecanismo em que textos em linguagem natural são traduzidos para textos no formato interlíngua (linguagem neutra, chamada <i>TMR-text meaning representation</i>); a ligação da ontologia com o TMR é feita por meio de um léxico, no qual os significados dos itens são definidos por conceitos ontológicos (Beale, Nirenburg & Mahesh, 1995).
<i>PANGLOSS</i>	Possui um sistema baseado em exemplos e um sistema de transferência léxica que trabalham em paralelo propondo traduções das entradas; o resultado ou tradução final é selecionada por um modelo estatístico (Frederking, 1994)
<i>KPML (Komet-Penman MultiLingual)</i>	Desenvolve gramáticas e gera linguagens naturais; oferece um ambiente de desenvolvimento gráfico para a construção, manutenção e uso de gramáticas para diversas línguas (inglês, alemão, holandês, chinês, espanhol, russo, búlgaro e checo) (Bateman, 1996).
<i>Ontogeneration</i>	Gera textos em espanhol no domínio da química e utiliza linguagens naturais para responder a consultas sobre grupos, elementos e propriedades químicas; utiliza uma ontologia da química (<i>Chemicals</i>), uma ontologia lingüística e uma gramática em espanhol (Aguado <i>et alii</i> , 1998).
<i>Penman</i>	Gera sentenças em linguagem natural a partir de uma entrada não lingüística, aceita várias notações na entrada e foi projetado para o uso por pessoas com vários graus de sofisticação lingüística e computacional (Teich & Bateman, 1993).
<i>TechDoc</i>	Gera documentos técnicos multilingüísticos (inglês, alemão e francês) a partir de uma representação independente construída pela análise comparativa de partes dos manuais técnicos e lingüísticos disponíveis em diferentes línguas (Rösner & Stede, 1994).

TABELA 5

Projetos relacionados à recuperação da informação na Web

Projeto	Breve descrição
<i>OntoSeek</i>	Recupera informações de catálogos de produtos <i>on-line</i> utilizando um sistema de agentes inteligentes, um mecanismo de casamento de padrão baseado em ontologias para tratar o conteúdo e um formalismo para representação (Borgo <i>et alii</i> , 1997).
<i>WebKB-2</i>	Permite que usuários da <i>Web</i> recuperem e adicionem conhecimento em uma base compartilhada; permite a publicação de informações automaticamente recuperáveis e comparáveis com as de outros usuários (Martin & Eklund, 2001).
<i>C-Web - Community Web</i>	Formaliza o conhecimento comum utilizado por comunidades da <i>Web</i> ; a limitação é conseguir um ponto de acesso único para as várias fontes de informação das comunidades (Alexaki <i>et alii</i> , 2002).
<i>SEAL (Semantic Portal)</i>	Possibilita o desenvolvimento de portais semânticos a partir de abordagem baseada em ontologias; explora o aspecto semântico por meio do fornecimento e acesso a informações em um portal (Maedche <i>et alii</i> , 2001)

TABELA 6

Projetos relacionados à educação

Projeto	Breve descrição
<i>RichODL</i>	Ambiente de aprendizado na <i>Web</i> desenvolvido para treinar estudantes na modelagem e simulação de ambientes dinâmicos; ontologias são usadas para descrever o domínio físico dos sistemas modelados, além de suas correlações (Zdrahal <i>et alii</i> , 2000).
<i>Smartrainer</i>	Sistema de treinamento automático no domínio do fornecimento de energia; treina funcionários de empresas de energia para a recuperação de acidentes em subestações elétricas (Jin <i>et alii</i> , 1997).
<i>SchoolOnto Scholarly Ontologies Project</i>	Biblioteca digital baseada em ontologias que possibilita interpretar domínios; auxilia na modelagem de pesquisas dinâmicas que carecem de ferramentas para tratar inconsistências; permite discutir a contribuição do documento para a literatura da área por meio de uma rede semântica (Shum, Motta & Domingue, 2000).

TABELA 7
Ontologias de alto nível

Ontologia	Breve descrição
SOWA	Inclui categorias básicas derivadas de várias fontes (lógica, lingüística, filosofia, inteligência artificial). O conceito de mais alto nível é o tipo "universal", e o de mais baixo nível é o tipo "absurdo". Os subtipos do tipo universal são conceitos primitivos que combinados geram novos conceitos (Sowa, 1999).
Guarino	As categorias são divididas em "universais" e "particulares". Os particulares são conceitos abstratos, por exemplo, um objeto ou um evento, que podem ser instanciados em elementos específicos. Os universais são também conceitos abstratos (por exemplo, tipo e papel) que podem ser instanciados em particulares. É possível provar que cada propriedade pode ser instanciada em pelo menos um dos níveis da hierarquia (Guarino & Welty, 2000).
IEEE Standard	É um padrão da IEEE chamado <i>Standard Upper Merged Ontology</i> , que tem o propósito de especificar uma ontologia de alto nível para utilização em aplicações de interoperabilidade, busca, recuperação, inferências automáticas, processamento de linguagens naturais etc. ¹

¹ Disponível na Internet em <http://reliant.tekknowledge.com/DAML/SUO.daml> e <http://suo.ieee.org/>

TABELA 8
Ontologias lingüísticas

Ontologia	Breve descrição
CoreLex	É uma ontologia léxico-semântica que contém 126 tipos semânticos, cobre cerca de 40 mil substantivos e define um grande número de classes polissêmicas, derivadas de análise do <i>Wordnet</i> (Buitelaar, 2001).
EDR Electronic Dictionary	Desenvolvido para processamento de linguagem natural, integra relações entre entradas léxicas e seus conceitos na forma de uma hierarquia e de relações semânticas, agrupados em um banco de dados de onde os conceitos são extraídos. É composto por cinco grandes tipos de dicionários (Ogino et alii, 1997).
EuroWordNet	Trata-se de um conjunto de dicionários para línguas européias (holandês, italiano, espanhol, alemão, francês, tcheco, estoniano), organizados a partir de grupos de sinônimos e das relações entre eles. Cada dicionário é conectado a um índice interlíngua que acessa uma ontologia semântica de alto nível, possibilitando navegar de uma palavra em uma língua para a mesma palavra em outra língua. Pode ser utilizado para recuperação da informação multilíngüe (Vossen, 1998).
GT (Goi-Taikei's) ontology	Trata-se de um léxico de 40 mil palavras japonesas que consiste de uma ontologia, um dicionário semântico de palavras e um dicionário semântico da estrutura. A ontologia classifica conceitos expressando as relações entre as palavras. O significado das palavras é dado por uma hierarquia semântica, em que os nós representam uma classe semântica e as arestas representam relações é-um ou tem-um (Bond et alii, 2001).
GUM (Generalized Upper Model)	Ontologia para processamento de linguagens naturais que simplifica a interface entre conhecimento de um domínio e recursos lingüísticos genéricos. Consiste de duas hierarquias: uma contém todos os conceitos, e a outra contém todos os papéis (Bateman, Magnini & Fabris, 1995).
Wordnet	Trata-se de um grande banco de dados léxico para a língua inglesa, em que são organizados 70 mil grupos de sinônimos, cada um representando um conceito léxico. Os sinônimos são conectados por relações, e o léxico é dividido em substantivos, verbos, adjetivos e advérbios (Miller, 1995).

TABELA 9
Ontologias para empresas

Ontologia	Breve descrição
Enterprise Ontology	Trata-se de uma coleção de termos e definições relevantes para empresas e negócios, incluindo conhecimento sobre atividades, processos, organizações, estratégias e marketing (Uschold et alii, 1998).
TOVE (Toronto Virtual Enterprise)	Tem por objetivo criar um modelo de dados que forneça uma terminologia compartilhada para as empresas, definir o significado de cada termo, implementar semântica em um grupo de axiomas que permitem deduções sobre questões de senso comum na empresa e definir uma simbologia para representação de um termo ou conceito em um contexto gráfico (Fox, 1981).

TABELA 10
Ontologias para domínios específicos

Ontologia	Breve descrição
GALEN	Representado em linguagem formal, é baseado em um modelo semântico para terminologia clínica CORE (<i>Coding Reference Model</i>); reúne conceitos clínicos elementares, relações e controla como podem ser feitas as combinações para a formação de conceitos complexos (Rector et alii, 1995).
UMLS (The Unified Medical Language System)	Conecta vocabulário biomédico de fontes diversas (terminologia clínica, fontes sobre drogas etc.) em diversas línguas. Consiste de um metatesaurus com informação semântica sobre os conceitos, seus nomes e relações; de uma rede semântica de categorias genéricas às quais os termos do metatesaurus são atribuídos; e um léxico especializado que contém informação sintática sobre termos biomédicos (Pisanelli, Gangemi & Steve, 1998).
CHEMICALS	Ontologia do domínio da química que contém conhecimento sobre elementos químicos e estruturas cristalinas (Fernández-Lopez et alii, 1999)

TABELA 11
Repositórios de ontologias

Repositório	Breve descrição
DAML	Repositório com 192 ontologias, implementadas em DAML+OIL, classificadas de acordo com diferentes critérios (URI, data de submissão, palavras-chave etc.) ²
Ontolingua Server	Armazena aproximadamente 50 ontologias escritas em Ontolingua, além de informações e estatísticas (número de classes, relações e axiomas) ³
Universal Repository:	Armazena cerca de 50 ontologias para educadores e escolas, classificadas por áreas de conhecimento (história, computação, literatura etc.) ⁴

para aprendizado sobre a estrutura de ontologias e para a integração de ontologias. Baseado nos estudos de Corcho, Fernández-López & Gomez-Pérez (2001), apresentam-se várias metodologias para construção de ontologias. As tabelas 12, 13, 14 e 15, a seguir, sintetizam os comentários sobre as metodologias, proporcionando uma visão geral de seu funcionamento.

As metodologias apresentadas possuem abordagens e características diversas. Não parece provável a unificação das propostas em uma única metodologia. Para verificar a utilidade das metodologias e compará-las, é necessário avaliar a ontologia resultante da aplicação de cada metodologia. Além de metodologias, existem ferramentas utilizadas para a construção de uma ontologia.

Ferramentas para a construção de ontologias

Por se tratar de uma tarefa dispendiosa, qualquer apoio na construção de ontologias pode representar ganhos significativos. Exemplos de ferramentas para a construção de ontologias são apresentados a seguir, na tabela 16.

Critérios devem ser definidos para que as ferramentas de construção de ontologias possam ser comparáveis. Em geral, as ferramentas utilizam linguagens de representação para a construção das ontologias, as quais são apresentadas na seção seguinte.

Linguagens para a construção de ontologias

Alguns exemplos de linguagens que se prestam à construção de ontologias são apresentados a seguir, na tabela 17.

Critérios devem ser definidos para que se possa comparar as linguagens para construção de ontologias apresentadas nessa seção. Wache *et alii* (2001) apresentam um comparativo entre as linguagens sobre diversos aspectos (operadores, axiomas, declarações etc.). A seção seguinte apresenta uma breve pesquisa sobre métodos para a avaliação de ontologias.

Métodos de avaliação para ontologias

Propostas para a avaliação de ontologias são encontradas na literatura, mas parecem existir poucas metodologias formais. A construção de ontologias é ainda mais artesanal do que científica (Jones *et alii*, 1998), e não existem propostas unificadas, sendo que grupos diferentes utilizam diferentes abordagens (Fernandez, 1999). Essa diversidade pode ser um fator que dificulta a formulação de metodologias de avaliação formais.

Algumas questões básicas para a avaliação de ontologias são: Quais são os mecanismos para interagir com as ontologias? Qual é o formalismo de representação do conhecimento utilizado? A ontologia é bem documentada? A ontologia foi avaliada sobre o ponto de vista técnico?

Gómez-Perez (1999) apresenta critérios que podem ser utilizados para avaliar ontologias. Os passos apresentados para a avaliação focalizam-se sobre os conceitos e definições que compõem a ontologia:

- Verificar a estrutura ou arquitetura da ontologia: as definições são construídas seguindo os critérios de projeto?
- Verificar a sintaxe das definições: existem estruturas ou palavras-chave sintaticamente incorretas nas definições?
- Verificar o conteúdo das definições: o que a ontologia define ou não? O que define incorretamente? O que pode ser inferido e o que não pode?

A tabela 18 apresenta, a seguir, exemplos de mecanismos formais para a avaliação de ontologias.

² Disponível na Internet em <http://www.daml.org/ontologies/>

³ Disponível na Internet em www.ksl-svc.stanford.edu:5915/

⁴ Disponível na Internet em <http://www.ist-universal.org/>

TABELA 12

Metodologias para construção de ontologias

Metodologia	Breve descrição
<i>Cyc</i>	Codifica manualmente o conhecimento implícito e explícito das diferentes fontes, e, quando já se tem conhecimento suficiente na ontologia, um novo consenso pode ser obtido por ferramentas que utilizam linguagem natural (Lenat & Guha, 1990).
USCHOLD e KING	Identifica o propósito, os conceitos e relacionamentos entre os conceitos, além dos termos utilizados para codificar a ontologia e, em seguida, documentá-la (Uschold & King, 1996).
GRÜNINGER e FOX	Método formal que identifica cenários para uso da ontologia, utiliza questões em linguagem natural para determinação do escopo da ontologia, executa a extração sobre os principais conceitos, propriedades, relações e axiomas, definidos em PROLOG (Grüninger & Fox, 1995).
<i>KACTUS</i>	Método recursivo que consiste em uma proposta inicial para uma base de conhecimento; quando é necessária uma nova base em domínio similar, generaliza-se a primeira base em uma ontologia adaptada a ambas aplicações; quanto mais aplicações, mais genérica a ontologia (Bernaras, Laresgoiti & Corera, 1996).
<i>Methontology</i>	Constrói uma ontologia por reengenharia sobre outra utilizando-se o conhecimento do domínio; as atividades principais são especificação, conceitualização, formalização, implementação e manutenção (Fernández-López <i>et alii</i> , 1999).
<i>Sensus</i>	Constrói ontologias a partir de outras ontologias, identificando os termos relevantes para o domínio e ligando-os à ontologia mais abrangente (<i>Sensus</i> , com 50 mil conceitos); um algoritmo monta a estrutura hierárquica do domínio (Swartout <i>et alii</i> , 1996)
<i>On-to-knowledge</i>	Auxilia a administração de conceitos em organizações, identificando metas para as ferramentas de gestão do conhecimento e utilizando cenários e contribuições dos provedores / clientes de informação da organização (Staab <i>et alii</i> , 2001).

TABELA 13

Metodologias para construção de ontologias em grupo

Metodologia	Breve descrição
CO4	Permite discussão sobre conhecimento introduzido em bases de conhecimento compartilhadas, que correspondem a ontologias já que deve haver um consenso sobre o conhecimento ali representado. Quando uma mudança é proposta, os usuários são notificados e podem aceitá-la ou não (Euzenat, 1996).
(KA) ²	Modela formas de aquisição do conhecimento usando ontologias desenvolvidas em conjunto por pessoas em diferentes locais, mas que utilizam o mesmo padrão; a comunicação e coordenação são feitas via agentes inteligentes (Kietz, Maedche & Volz, 2000).

TABELA 14

Metodologias para aprendizado sobre a estrutura de ontologias

Metodologia	Breve descrição
<i>Maedche</i>	Uma ontologia genérica é convertida em modelo; especificam-se textos e obtêm-se conceitos do domínio a partir das fontes disponíveis; removem-se conceitos genéricos, de forma que apenas os conceitos específicos do domínio permaneçam; a estrutura conceitual da ontologia está estabelecida e obtêm-se as relações. Novas relações conceituais são induzidas por métodos de aprendizado (Kietz, Maedche & Volz, 2000).

TABELA 15

Metodologias para integração de ontologias

Metodologia	Breve descrição
<i>FCA-Merge</i>	Utiliza de processamento de linguagem natural e análise formal de conceitos sobre as ontologias que se deseja integrar, resultando em um conjunto de conceitos; o resultado é analisado por especialistas e transformado em uma ontologia composta (Stumme & Maedche, 2001).
<i>PROMPT</i>	Trata-se de um algoritmo aplicável a várias plataformas que integra ontologias e é baseado em um modelo de conhecimento genérico; executa algumas tarefas automaticamente (existe participação humana) e determina inconsistências na ontologia, sugerindo como removê-las (Noy & Musen, 2000).

TABELA 16

Ferramentas para construção de ontologias

Ferramentas	Breve descrição
CODEA (<i>Conceptually Oriented Description Environment</i>)	Ferramenta de propósito geral que possui diferentes modos de herança e inferência, uma interface gráfica de fácil uso, um modo de hipertexto para navegação e utilitários para leitura de documentos e gerenciamento léxico (Skuce, 1995).
VOID	Ambiente para navegação, edição e gerenciamento de ontologias. Por meio de simulações, possibilita o estudo de questões teóricas, como organização de bibliotecas de ontologias e tradução entre diferentes formalismos (Schreiber, Terpstra & Sisyphus, 1995).
IKARUS (<i>Intelligent Knowledge Acquisition and Retrieval Universal System</i>)	Explora as capacidades cooperativas do ambiente <i>Web</i> . Utiliza uma representação hierárquica gráfica que permite herança múltipla. As declarações que contêm a informação são representadas como predicados com sintaxe e semântica definidos ou como fragmentos sem estrutura (Skuce, 1996).
Ontolingua	Conjunto de serviços que possibilitam a construção de ontologias compartilhadas entre grupos. Permite acesso a uma biblioteca de ontologias, tradutores para linguagens e um editor para criar e navegar pela ontologia. Editores remotos podem editar ontologias usando protocolos. (Farquhar, Fikes & Rice, 1996)
Ontosaurus	Consiste de um servidor de ontologias que usa o LOOM para representação do conhecimento e um servidor de navegação por ontologias que cria páginas HTML dinamicamente e apresenta a hierarquia da ontologia (Swartout <i>et alii</i> , 1996).
GKB-Editor (<i>Generic Knowledge Base Editor</i>)	Ferramenta para navegação e edição de ontologias por meio de sistemas de representação baseados em <i>frames</i> *. Oferece interface gráfica, em que os usuários podem editar diretamente a base de conhecimento e selecionar a parte que é de seu interesse (Paley & Karp, 1997).
JOE (<i>Java Ontology Editor</i>)	Ferramenta para construção e visualização de ontologias. Proporciona gerenciamento do conhecimento em ambientes abertos, heterogêneos e com diversos usuários. As ontologias são visualizadas como um diagrama entidade-relacionamento, como o gerenciador de arquivos do <i>MS Windows</i> ou como uma estrutura em árvore (Mahalingam & Huhns, 1997).
APECKS (<i>Adaptive Presentation Environment for Collaborative Knowledge Structuring</i>)	É um servidor de ontologias que permite trabalho cooperativo mediante a criação de ontologias pessoais pelos usuários. Estas ontologias podem ser comparadas com outras, e é possível a discussão sobre as diferenças e similaridades entre elas (Tennison & Shadbolt, 1998).
OilEd	É um editor de ontologias de código aberto que permite construir ontologias utilizando a linguagem OIL. Não é um ambiente completo para desenvolvimento de ontologias. Verificação da consistência e classificação automática da ontologia podem ser executadas pela ferramenta FaCT (Horrocks, Sattler & Tobies, 1999).
OntoEdit	É um ambiente gráfico para edição de ontologias que permite inspeção, navegação, codificação e alteração de ontologias. O modelo conceitual é armazenado usando um modelo de ontologia que pode ser mapeado em diferentes linguagens de representação. As ontologias são armazenadas em bancos relacionais e podem ser implementadas em XML, FLogic, RDF(S) e DAML+OIL (Maedche <i>et alii</i> , 2000).
OCM (<i>Ontological Constraints Manager</i>)	É uma ferramenta para verificar a consistência de ontologias em relação a axiomas ontológicos. É composto por duas ferramentas de edição que possibilitam verificar a ocorrência de conflitos. (Kalfoglou <i>et alii</i> , 2001).
Protegé 2000	É um ambiente interativo para projeto de ontologias, de código aberto, que oferece uma interface gráfica para edição de ontologias e uma arquitetura para a criação de ferramentas baseadas em conhecimento. A arquitetura é modulada e permite a inserção de novos recursos (Noy, Ferguson & Musen, 2000).
WebODE	Ambiente para engenharia ontológica que dá suporte à maioria das atividades de desenvolvimento de ontologias. A integração com outros sistemas é possível, importando e exportando ontologias de linguagens de marcação (Arpírez <i>et alii</i> , 2001).
WebOnto	Ferramenta que possibilita a navegação, criação e edição de ontologias, representadas na linguagem de modelagem OCML. Permite o gerenciamento de ontologias por interface gráfica, inspeção de elementos, verificação da consistência da herança e trabalho cooperativo. Possui uma biblioteca com mais de cem ontologias (Domingue, 2001).
Ontomarkup Annotation Tool	Ferramenta baseada em ontologias que incorporarem informações semânticas em documentos mediante anotações. Contém um componente de marcação que permite a navegação e a marcação de partes relevantes, um componente que aprende regras a partir de exemplos e um componente de extração da informação (Vargas-Vera <i>et alii</i> , 2001).
Onto Annotate	É uma ferramenta de anotação semi-automática que permite a coleta de informações de documentos e páginas da Web, criando novos documentos com metadados. Permite a anotação em documentos de HTML estático, Ms-Word e MS-Excel (Hands Schuh, Staab & Madche, 2001).
Asium (<i>Acquisition of Semantic knowledge Using Machine learning method</i>)	Auxilia um especialista na aquisição de conhecimento e semântica de textos. Possui uma interface amigável que auxilia na exploração dos textos e no aprendizado da semântica que não está nos textos, como, por exemplo, de uma ontologia, que representa os conceitos estudados no domínio (Faure & N'edellec, 1998).
Text-to-onto	Proporciona um ambiente para o aprendizado e construção de ontologias a partir de textos. Os textos podem ser em linguagem natural ou formatados em HTML. O sistema é composto por um módulo de gerenciamento de textos e um extrator de informações. Os resultados são armazenados em XML (Maedche & Volz, 2001).

* *Frames* são estruturas de dados que contêm variáveis pertencentes a um escopo.

TABELA 17

Linguagens para construção de ontologias

Linguagens	Breve descrição
<i>Cycl</i>	Linguagem formal que expressa conhecimento por meio de um vocabulário de termos (constantes semânticas, variáveis, números, seqüências de caracteres etc.) os quais são combinados em expressões, sentenças e finalmente bases de conhecimento (Lenat & Guha, 1990).
<i>Flogic(Frame Logic)</i>	Integra <i>frames</i> e lógica de primeira ordem. Trata de uma forma declarativa os aspectos estruturais das linguagens baseadas em <i>frames</i> e orientadas a objeto (identificação de objetos, herança, tipos polimórficos, métodos de consulta, encapsulamento etc.). Permite a representação de conceitos, taxonomias, relações binárias, funções, instâncias, axiomas e regras (Kifer, Lausen & Wu, 1990).
<i>LOOM</i>	Descendente da família KL-ONE (<i>Knowledge Language One</i>), é baseada em lógica descritiva e regras de produção. Permite a representação de conceitos, taxonomias, relações n-árias, funções, axiomas e regras de produção (Brill, 1993).
CARIN	Trata-se de uma combinação da <i>Datalog</i> (linguagem baseada em regras) e lógica descritiva ALN. Uma ontologia CARIN é construída por dois componentes terminológicos: um conjunto de conceitos com declarações de inclusão e um conjunto de regras que usam os conceitos (Levy & Rousset, 1996).
GRAIL	É uma linguagem que especifica uma ontologia do domínio médico (Galen). É uma linguagem baseada em lógica descritiva, terminologicamente limitada, que permite a construção de hierarquias de primitivas e axiomas de inclusão de conceitos (Rector <i>et alii</i> , 1997).
<i>Ontolingua</i>	Combina paradigmas das linguagens baseadas em <i>frames</i> e lógica de primeira ordem. Permite a representação de conceitos, taxonomias de conceitos, relações n-árias, funções, axiomas, instâncias e procedimentos. Sua alta expressividade causa problemas na construção de mecanismos de inferência (Chaudhri <i>et alii</i> , 1998).
OCML	Permite a especificação de funções, relações e classes, instâncias e regras. Utilizada em aplicações de gerenciamento do conhecimento, desenvolvimento de ontologias, comércio eletrônico e sistemas baseados em conhecimento. Aplicada em medicina, ciências sociais, memória corporativa, engenharia, portais da <i>Web</i> etc. (Domingue, Motta & Corcho, 1999; Chaudhri, Karp & Thomere, 1999).
OML (<i>Ontology Markup Language</i>)	Linguagem baseada em lógica descritiva e grafos conceituais que permite a representação de conceitos organizados em taxonomias, relações e axiomas (Kent, 1999).
RDF (<i>Resource Description Framework</i>)/RDFS(<i>RDF Schema</i>)	Desenvolvidos pelo W3 <i>Consortium</i> , têm por objetivo a representação de conhecimento por meio da idéia de redes semânticas. São linguagens que permitem a representação de conceitos, taxonomias de conceitos e relações binárias (Lassila & Swick, 1999).
NKRL (<i>Narrative Knowledge Representation Language</i>)	Linguagem de representação baseada em <i>frames</i> especialmente desenvolvida para descrever modelos semânticos de documentos multimídia (Bertino, Barbara & Zari, 1999).
SHOE (<i>Simple HTML Ontology Extensions</i>)	Utiliza extensões ao HTML, adicionando marcações para inserir metadados em páginas <i>Web</i> . As marcações podem ser utilizadas para a construção de ontologias e para anotações em documentos da <i>Web</i> . (Hefflin & Hendler, 2000).
XOL	É uma linguagem que pode especificar conceitos, taxonomias e relações binárias. Não possui mecanismos de inferência e foi projetada para a intercâmbio de ontologias no domínio da biomédica (Karp, 1997).
OIL (<i>Ontology Interchange Language</i>)	Precursor do DAML+OIL e base para uma linguagem para a <i>Web</i> Semântica. Combina primitivas de modelagem das linguagens baseadas em <i>frames</i> com a semântica formal e serviços de inferência da lógica descritiva. Pode verificar classificação e taxonomias de conceitos (Fensel <i>et alii</i> , 2001).
DAML (<i>DARPA Agent Markup Language</i>) + OIL	DAML+OIL é uma linguagem de marcação semântica para a <i>Web</i> que apresenta extensões a linguagens como o DAML, RDF e RDFS, por meio de primitivas de modelagem baseadas em linguagens lógicas. (Horrocks <i>et alii</i> , 2001).
FOML (<i>formal ontology markup language</i>)	Trata-se de uma linguagem de marcação, baseada em XML, que conecta documentos da <i>Web</i> com ontologias formais. O objetivo é a aquisição automática de conhecimento de domínios específicos (Ogata, 2001).

TABELA 18

Métodos para avaliação de ontologias

Metodologia	Breve descrição
WELTY e GUARINO	É uma metodologia para avaliação de taxonomias que utiliza princípios filosóficos. O usuário pode fazer anotações nas propriedades da taxonomia e depois avaliá-la (Welty & Guarino, 2000).
GÓMEZ-PÉREZ	Avalia erros na construção da ontologia provenientes da estruturação do domínio em taxonomias e bases de conhecimento. Leva em conta o trabalho realizado previamente na avaliação das ontologias e os critérios utilizados para tal (Gómez-Pérez, 2001).

CONCLUSÕES

Este artigo proporcionou uma visão geral sobre o estado-da-arte no estudo de ontologias. Apresentaram-se definições, tipos, aplicações, metodologias, ferramentas e linguagens para a construção de ontologias. Pesquisou-se o uso de ontologias, destacando projetos, repositórios e ontologias conhecidas.

Apesar da preocupação em cobrir os itens mais representativos descritos recentemente na literatura, o estudo não é exaustivo e tem se verificado o surgimento de novas iniciativas. Conclui-se que a existência de inúmeras e variadas abordagens justifica um trabalho de sistematização como o apresentado.

O grande volume de pesquisa sobre o assunto sugere a importância e a utilidade das ontologias na tarefa de organizar informações em um domínio do

conhecimento. O ambiente informacional atual é mais abrangente do que há alguns anos, principalmente em função do advento da Internet e da popularização dos computadores. Junto a outras ferramentas tradicionais utilizadas pela biblioteconomia (como, por exemplo, os *tesauri*), as ontologias podem proporcionar melhorias na recuperação da informação ao organizar o conteúdo de fontes de dados que compõem um domínio. Além disso, as ontologias permitem formas de representação baseadas em lógica, o que possibilita o uso de mecanismos de inferência para criar novo conhecimento a partir do existente. Dessa forma, representam uma evolução em relação a técnicas tradicionais.

Espera-se que este trabalho sirva de base para estudos que aprofundem algumas das abordagens aqui pesquisadas. As linguagens, ferramentas e metodologias para a construção de ontologias devem ser discutidas e analisadas, para se determinar sua melhor utilização, contribuindo para o avanço da área de representação do conhecimento. Tais tarefas estão além do escopo deste artigo, e pretende-se abordá-las em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- AGUADO, G. *et al.* Ontogeneration: reusing domain and linguistic ontologies for Spanish text generation? In: EUROPEAN CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE. 13. 1998. Brighton, England, 1998. p. 23-28.
- ALBERTAZZI, Liliana. Formal and material ontology. In: POLI, Roberto; SIMONS, Peter (Ed.). *Formal ontology*. Dordrecht : Kluwer, 1996. p. 199-232.
- ALEXAKI, S. *et al.* Managing RDF metadata for community webs. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE WORLD WIDE WEB AND CONCEPTUAL MODELING. 2. 2000. [S. l. : s. n.], 2000. p. 140-151. Disponível em: <<http://139.91.183.30:9090/RDF/publications/wcm2000.PDF>>. Acesso em: 11 out. 2002.
- ARPÍREZ, J. C. *et al.* Web ODE: a scalable workbench for ontological engineering. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE CAPTURE. PROCEEDINGS. Victoria, British Columbia, Canada, 2001.
- BATEMAN, J. A. *Using text structure and text planning to guide text summarization*. Disponível em: <<http://www.ik.fhannover.de/ik/projekte/Dagstuhl/Abstract/Abstracts/Bateman/Bateman.html>>. Acesso em: 25 maio 2002.
- BATEMAN, J.; MAGNINI, B.; FABRIS, G. The generalized upper model knowledge base: organization and use. In: CONFERENCE ON KNOWLEDGE REPRESENTATION AND SHARING. 1995. Proceedings. Twente, the Netherlands, 1995.
- BEALE, S.; NIRENBURG, S.; MAHESH, K. Semantic analysis in the mikrokosmos machine translation project. In: PROCEEDINGS OF THE SECOND SYMPOSIUM ON NATURAL LANGUAGE PROCESSING. 1995. Disponível em: <<http://crl.nmsu.edu/users/sb/papers/thai/thai.html>>. Acesso em: 6 jul. 2002.
- BERNARAS, A.; LARESGOITI, I.; CORERA, J. Building and reusing ontologies for electrical network applications. In: PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 1996. [S. l. : s. n.], 1996. p. 298-302.
- BERTINO, E.; BARBARA, C.; ZARRI, G. P. A conceptual annotation approach to indexing in a web-based information system. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCE ISSUES OF E-COMMERCE AND WEB-BASED INFORMATION SYSTEMS. 1999. Santa Clara, California : [s. n.], 1999.
- BLACKBURN, S. Consultoria da edição brasileira. In: MARCONDES, D. *Dicionário oxford de filosofia*. Tradução D. Murcho *et al.* Rio de Janeiro : Jorge Zahar, 1997.
- BOND, F. *et al.* Design and construction of a machine – tractable Japanese-Malay lexicon. In: ANNUAL MEETING OF THE ASSOCIATION FOR NATURAL LANGUAGE PROCESSING. 7. 2001. [S. l. : s. n.], 2001.
- BORGO, S. *et al.* Using a large linguistic ontology for Internet-based retrieval of object-oriented components. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING AND KNOWLEDGE ENGINEERING. 9. 1997. Madrid. Madrid : [s. n.], 1997.
- BORST, W. N. *Construction of engineering ontologies*. 1997. Tese (Doutorado). Disponível em: <<http://www.ub.utwente.nl/webdocs/inf/1/t0000004.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2002.
- BRILL, D. Loom reference manual. In: BACON, J. HAYTON; R. MOODY, K. *Middleware for digital libraries*. [S. l. : s. n.], 1998. Disponível em: <<http://www.dlib.org/dlib/october98/bacon/10bacon.html>>. Acesso em: 15 nov. 2001.
- BUITELAAR, Paul. Semantic lexicons: between ontology and terminology. In: PROCEEDINGS OF ONTOLEX: ONTOLOGIES AND LEXICAL KNOWLEDGE BASES. 2000. OntoText Lab. : Sofia, Bulgaria, 2001.
- CAPLINKAS, A. ; EDER, J. (Ed.). Advances in databases and information systems. *Technika*, v. 2. p.29-41, 2001.
- CORAZZON, R. *What is ontology?* [S. l. : s. n.], 2002. Disponível em: <http://www.formalontology.it/section_4.htm>. Acesso em: 20 jul. 2002.
- CHANDRASEKARAN, B.; JOHNSON, T. R.; BENJAMINS, V. R. Ontologies: what are they? Why do we need them? *IEEE Intelligent Systems*, v. 14, n. 1, p. 20-26, 1999.
- CHAUDHRI, V. K. *et al.* *Open knowledge base connectivity 2.0*. [S. l. : s. n.], 1998. Disponível em: <<http://www.ksl-svc.stanford.edu:5915/doc/release/okbc/okbc-spec/okbc-2-0-3.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2002.
- DOMINGUE, J. *Tadzebao and webonto: discussing, browsing and editing ontologies on the web*. In: PROCEEDINGS OF THE 11th BANFF KNOWLEDGE ACQUISITION WORKSHOP. 1998. Banff, Alberta, Canada, [s.n.], 1998.
- _____; MOTTA, E. A Knowledge-based news server supporting ontology-driven story enrichment and knowledge retrieval. In: KNOWLEDGE ACQUISITION, MODELING AND MANAGEMENT. 1999. Dagstuhl Castle, Germany : [s. n.], 1999.
- _____; _____. CORCHO, O. *Knowledge modeling in web onto and OCML: a user guide*. [S. l. : s. n.], 1999. Disponível em: <http://kmi.open.ac.uk/projects/webonto/user_guide.2.4.pdf>. Acesso em: 09 jun 2002.

- _____. *et al.* Supporting ontology driven document enrichment within communities of practice. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE CAPTURE. 2001. Victoria, British Columbia, Canada. [S. n.], 2001.
- EUZENAT, J. Corporative memory through cooperative creation of knowledge bases and hyper-documents. In: PROCEEDINGS ON KNOWLEDGE ACQUISITION FOR KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS WORKSHOP. 10. 1996. Disponível em: <<http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/euzenat/euzenat96b.html>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- FARQUHAR, A.; FIKES, R.; RICE, J. *The ontolingua server*. USA: a tool for collaborative ontology construction. Duluth : Academic Press, 1997. p. 707-727.
- FAURE; N'EDDELLE D. *ASIUM: learning subcategorization frames and restrictions of selection*. In: CONFERENCE ON MACHINE LEARNING. 10. 1998. Chemnitz, Germany : [s. n.], 1998.
- FENSEL, D. *et al.* *OIL: an ontology infrastructure for the semantic web*. [S. l.] : IEEE Intelligent Systems, 2001.
- FERNÁNDEZ, M. Overview of methodologies for building ontologies. In: WORKSHOP ON ONTOLOGIES AND PROBLEM-SOLVING METHODS: lessons learned and future trends. 1999. [S. l. : s. n.], 1999. p. 4-1, 4-13.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M. *et al.* Building a chemical ontology using methodology and the ontology design environment. [S. l.] : *IEEE Intelligent Systems & their Applications*, p. 37-46, Jan./Feb. 1999.
- FOX, M.S. An organizational view of distributed systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, v. 11, n. 1, p. 70-80, 1981.
30. GANDON, F. Engineering an ontology for a multi-agents corporate memory system. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE MANAGEMENT OF INDUSTRIAL AND CORPORATE KNOWLEDGE. 2001. [S. l. : s. n.], 2001. p. 209-228. Disponível em: <<http://citeseer.nj.nec.com/gandon01engineering.html>>. Acesso em: 22 maio 2002.
- GENESERETH, Michael R.; NILSSON, L. *Logical foundation of AI*. San Francisco, Los Altos, Califórnia : Morgan Kaufman, 1987.
- GERMANN, U. Making semantic interpretation parser-independent. In: PROCEEDINGS OF THE AMTA CONFERENCE, 4. 1998. Disponível em: <<http://www.isi.edu/natural-language/people/germann/>>. Acesso em: 11 maio 2002.
- GÓMEZ-PÉREZ, A. Evaluation of taxonomic knowledge in ontologies and knowledge bases. In: TWELFTH WORKSHOP ON KNOWLEDGE ACQUISITION, MODELING AND MANAGEMENT, 12. 1999, Alberta, Canadá. [S. l. : s. n.], 1999.
- _____; BENJAMINS, V. R. Overview of knowledge sharing and reuse components: ontologies and problem-solving methods. In: PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON ONTOLOGIES AND PROBLEM-SOLVING METHODS, 1999, Stockholm, Sweden. [S. l. : s. n.], 1999.
- GRUBER, T. (1996). *What is an ontology?* [S. l. : s. n.], 1996. Disponível em: <<http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>>. Acesso em: 14 set. 2002.
- GRÜNINGER, M.; FOX, M. S. Methodology for the design and evaluation of ontologies. In: WORKSHOP ON BASIC ONTOLOGICAL ISSUES IN KNOWLEDGE SHARING, 1995, Montreal. [S. l. : s. n.], 1995.
37. GUARINO, N. Formal ontology in information systems. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNAT. CONFERENCE ON FORMAL ONTOLOGY IN INFORMATION SYSTEMS, 2001, Buffalo. Nova York : Barry Smith University at Buffalo, 2001.
- GUARINO, N. Understanding, building and using ontologies. In: PROCEEDINGS OF KNOWLEDGE ACQUISITION FOR KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS WORKSHOP. 10. 1996. Disponível em: <<http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/guarino/guarino.html#Heading4>>. Acesso em: 22 set. 2001.
- _____; GIARETTA, P. *Ontologies and KBs, towards a terminological clarification*. In: MARS, N. (Ed.). *Towards a very large knowledge bases: knowledge building and knowledge sharing*. [S. l.] : IOS Press, 1995. p. 25-32.
- _____; WELTY, C. A. Formal ontology of properties. In: DIENG, R.; CORBY, O. (Ed.). INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE ENGINEERING AND KNOWLEDGE MANAGEMENT: methods, models and tools. 12. 2000. [S. l.] : Springer Verlag, 2000. p. 97-112.
- HAAV, H. M.; LUBI, T. L. A survey of concept-based information retrieval tools on the web. In: PROCEEDINGS OF EAST-EUROPEAN CONFERENCE ADBIS. 5. 2001.
- HANDSCHUH, S.; STAAB, S.; MADCHE, A. *CREAM-creating relational metadata with a component-based, ontology-driven annotation framework*. [S. l. : s. n.], 2001.
- HASMAN, A. *et al.* *ID2.1: Analysis of guideline ontologies*. [S. l. : s. n.], 1999. Disponível em: <<http://new.euromise.org/mgt/repdev/id21.html>>. Acesso em: 29 ago. 2002.
- HEFLIN, J.; HENDLER, J. Searching the web with SHOE. In: ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR WEB SEARCH. 2000. Menlo Park : AAAI Press, CA, p. 35-40, 2000.
- HORROCKS, I.; SATTTLER, U.; TOBIES, S. Practical reasoning for expressive description logics. *Logic Journal of the IGPL*, v. 8, n. 3, p. 239-264, may 2000.
- _____. *et al.* *The ontology interchange language (OIL)*. [S. l. : s. n.], 2001. Disponível em: <<http://public.research.mimesweeper.com/Standards/W3C/RDF-related/oil.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2002.
- _____. *et al.* *Reference description of the DAML+OIL ontology markup language*. [S. l. : s. n.], 2001. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/daml+oil-reference>>. Acesso em: 04 nov. 2001.
- JASPER, R.; USCHOLD, M. A framework for understanding and classifying ontology applications. IJCAI-99, *ONTOLOGY WORKSHOP, 1999*, Stockholm, [S. l. : s. n.], 1999.
- JIN, L. *et al.* Role explication of simulation in intelligent training systems by training task ontology. In: WORKSHOP ON ARCHITECTURES FOR INTELLIGENT SIMULATION-BASED LEARNING ENVIRONMENTS, 1997, Kobe, Japan. [S. l. : s. n.], 1997.
- JONES, D.; BENCH-CAPON, T.; VISSER, P. *Methodologies for ontology development*. [S. l. : s. n.], 1998. Disponível em: <<http://cweb.inria.fr/Resources/ONTOLOGIES/methodo-for-onto-dev.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2002.
- KALFOGLOU, Y. *et al.* *MyPlanet: an ontology-driven web-based personalized news service*. In: PROCEEDINGS OF THE IJCAI-01 WORKSHOP ON ONTOLOGIES AND INFORMATION SHARING SEATTLE, 2001. [S. l. S. : S. N.], 2001. p. 44-52.

Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e de construção

- KARP, R.; CHAUDHRI, V.; THOMERE, J. *XOL: an XML-based ontology exchange language*. [S. l. : s. n.]. 1999. Disponível em: <<http://www.ai.sri.com/~pkarp/xol/xol.html>>. Acesso em: 22 jun. 2002.
- KENT, R. E. Conceptual knowledge markup language: the central core. In: PROCEEDINGS OF THE TWELFTH WORKSHOP ON KNOWLEDGE ACQUISITION, MODELING AND MANAGEMENT, 1999, Banff. [S. l. : s. n.], 1999.
- KIETZ, J.; MAEDCHE, A.; VOLZ, R. A method for semi-automatic ontology acquisition from a corporate intranet. In: PROCEEDINGS OF THE EKAW WORKSHOP ON ONTOLOGIES AND TEXTS, 2000. [S. l. : s. n.], 2000. v. 51. Disponível em: <http://www.irit.fr/ACTIVITES/EQ_SMI/GRACQ/WSEKAW2000/PAPERS/Maedche.pdf>. Acesso em: 29 set. 2001.
- KIFER, M.; LAUSEN, G.; WU, J. Logical foundations of object-oriented and frame-based languages. *Journal of ACM*, v. 42, p. 741-843, 1995.
- LASSILA, O.; SWICK, R. *Resource Description Framework (RDF) model and syntax specification. W3C recommendation*. [S. l. : s. n.], 1999. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/REC-rdf-syntax/>>. Acesso em: 04 nov. 2001.
- LEGER, A. et al. *Ontology domain modeling support for multilingual services in e-commerce*. In: MKBEEM. PRESENTATION SEMINAR ECAI, 2000, Berlin. [S. l. : s. n.], 2000. Disponível em: <<http://mkbeem.elibel.tm.fr/paper/ecai00-final.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2001.
- LENAT, D. B.; GUHA, R.V. *Building large knowledge-based systems*. Massachussets : Addison-Wesley, 1990. 372 p.
- LEVY, A. Y.; ROUSSET, M. C. CARIN: A Representation language integrating rules and description logics. In: PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 1996, Budapest, Hungary. [S. l. : s. n.], 1996.
- MAEDCHE, A.; VOLZ, R. *The text-to-onto ontology extraction and maintenance environment* to appear. In: PROCEEDINGS OF THE ICDM WORKSHOP ON INTEGRATING DATA MINING AND KNOWLEDGE MANAGEMENT, 2001, San Jose, California. [S. l. : s. n.], 2001.
- _____ et al. Semantic portal: the SEAL approach to appear. In: FENSEL, D. et al. (Ed.). *Creating the semantic web*. Cambridge : Massachussets Institute of Technology, 2001.
- MAHALINGAM, K.; HUHS, M. N. An ontology tool for query formulation in an agent-based context. In: IFCIS INTERNATIONAL CONFERENCE ON COOPERATIVE INFORMATION SYSTEMS, 2., 1997, Kiawah Island, SC. [S. l. : s. n.], 1997. p. 170.
- MARTIN, P. H.; EKLUND, P. Large-scale cooperatively-built heterogeneous KBs. In: ICCS'01 INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPTUAL STRUCTURES, 9., 2001. [S. l. : s. n.], 2001. Disponível em: <<http://meganesia.int.gu.edu.au/~phmartin/WebKB/doc/papers/iccs01/>>. Acesso em: 6 set. 2002.
- MILLER, George A. WordNet: a lexical database for English. *Communications of the ACM*, v. 38, n. 11, p. 39-41, nov. 1995.
- MIZOGUCHI, R.; VANWELKENHUYSEN, J.; IKEDA, M. Task ontology for reuse of problem solving knowledge. In: PROCEEDINGS OF ECAI'94 TOWARDS VERY LARGE KNOWLEDGE BASES, 1994, Amsterdam. [S. l. : IOS Press, 1995, p. 46-59.
- MORENO, A. O.; HERNÁNDEZ, C. P. Reusing the mikrokosmos ontology for concept-based multilingual terminology databases. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANGUAGE RESOURCES & EVALUATION, 2., 2000, Athens. [S. l. : s. n.], 2000.
- NECHES, R. et al. Enabling technology for knowledge sharing. *AI Magazine*, v. 12, n. 3, Fall 1991.
- NOY, F. N.; GUINNESS, D. L. *Ontology development 101: a guide to create your first ontology*. Disponível em: <<http://ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontology-tutorial-noy-mcguinness.doc>>. Acesso em: 04 maio 2001.
- NOY, N. F.; MUSEN, M. A. PROMPT: algorithm and tool for automated ontology merging and alignment. In: NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 12., 2000. [S. l. : s. n.], 2000. p. 450-455. NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 17., Austin, TX, 2000. [S. l. : s. n.], 2000.
- OGATA, N. A formal ontology discovery from web documents. Web intelligence: research and development. In: PROCEEDINGS LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE, 2198, 2001 AND ASIA-PACIFIC CONFERENCE, 1. Maebashi City, Japan. [S. l. : Springer, 2001.
- OGINO, T. et al. An experiment on matching EDR concept classification dictionary with wordnet. IJCAI-97 WORKSHOP WP24 ONTOLOGIES AND MULTILINGUAL, 1997. [S. l. : s. n.], 1997.
- PALEY, J. L. S.; KARP, P. A Generic knowledge base browser and editor. In: PROCEEDINGS OF THE NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 14, 1997 AND INNOVATIVE APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE CONFERENCE, 9., 1997, Providence, Rhode Island. [S. l. : MIT, 1997. p. 1045-1051.
- PISANELLI, D.; Gangemi, A.; STEVE, G. An ontological analysis of the UMLS methatesaurus. In: PROCEEDINGS OF AMIA , 1998. [S. l. : s. n.], 1998.
- RECTOR, A. et al. Terminology server for medical language and medical information systems. *Methods of Information in Medicine*, v. 34, p. 147-157. 1995.
- RÖSNER, D.; STEDE, M. *Techdoc: multilingual generation of online and offline instructional text online and offline instructional text*. [S. l. : s. n.], 1994 Disponível em: <<http://acl.ldc.upenn.edu/A/A94/A94-1044.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2002.
- SCHREIBER, A.; TERPSTRA, P.; SISYPHUS, V.T. *A common KADS solution*. [S. l. : s. n.], 1995. (Technical report). Disponível em: <<http://www.swi.psy.uva.nl/projects/Kactus/Papers.html>>. Acesso em: 28 jun. 2002.
- SHUM, S. B. E, MOTTA; DOMINGUE, J. ScholOnto: An ontology-based digital library server for research documents and discourse. *International Journal on Digital Libraries*, v. 3, n. 3, p. 237-248, Sept. 2000.
- SKUCE, D. IKARUS: intelligent knowledge acquisition and retrieval universal system. [S. l. : s. n.], 1996. Disponível em: <<http://www.csi.uottawa.ca/~kavanagh/Ikarus/Ikarus4.html>>. Acesso em: 04 out. 2002.
- _____. CODE4: a unified system for managing conceptual knowledge. *International Journal of Human-Computer Studies*, n. 42, p. 413-451, 1995.

SOWA, J. F. Building, sharing and merging ontologies. Tutorial. [S. l. : s. n.], 1999. Disponível em: <<http://users.bestweb.net/~sowa/ontology/ontoshar.htm>>. Acesso em: 30 maio 2002.

_____. *Knowledge representation: logical, philosophical, and computational foundations*. Pacific Grove, CA : Brooks Cole Publishing, 1999.

STAAB, S. *et al.* Knowledge processes and ontologies. Intelligent systems. *IEEE*, v. 16, n. 1, p. 26-34, Jan./Feb. 2001.

STUMME, G.; MAEDCHE, A. FCA-merge: bottom-up merging of ontologies. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, Seattle. *Knowledge Representation and Reasoning*, v. 1, 2001.

SWARTOUT, B. *et al.* Toward distributed use of large-scale ontologies. In: PROCEEDINGS OF AAAI97 SPRING SYMPOSIUM SERIES WORKSHOP ON ONTOLOGICAL ENGINEERING, 1997. [S. l.] : AAAI Press, 1997. p. 138-148.

TENNISON, J.; SHADBOLT, N. R. APECKS: a tool to support living ontologies. In: PROCEEDINGS OF THE 11th BANFF KNOWLEDGE ACQUISITION WORKSHOP, 11., 1998, Banff, Alberta, Canada. [S. l. : s. n.], 1998, p. 18-23.

USCHOLD, M.; GRUNINGER, M. Ontologies: principles, methods and applications. *Knowledge Engineering Review*, v. 11, n. 2, 1996.

_____; KING, M. Building ontologies: towards a unified methodology. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE BRITISH COMPUTER SOCIETY SPECIALIST GROUP ON EXPERT SYSTEMS, 16., 1996, Cambridge, UK. [S. l. : s. n.], 1996.

_____. *et al.* The enterprise ontology? *Knowledge Engineering Review*, v. 13, 1998. Special issue on Putting ontologies to use.

VAN HEIJST, G.; SCHREIBER, A. T.; WIELINGA, B. J. Using explicit ontologies in KBS development. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 46, n. 2-3, p. 183-192, feb./march 1997.

VARGAS-VERA Maria *et al.* Knowledge Extraction by using an ontology-based Annotation tool. In: PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP KNOWLEDGE MARKUP AND SEMANTIC ANNOTATION, 2001, Victoria Canada, 2001.

VÁZQUEZ, E.; VALERA, F.; BELLIDO, L. *Modelado de servicios complejos en una plataforma de Intermediación para comercio electrónico*. [S. l. : s. n.], 2001. Disponível em: <<http://www.telecom.ece.ntua.gr/smartec/documentation/Publications/smartec-jitel2001.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2002.

VOSSSEN, P. (Ed.). *EuroWordNet: A Multilingual Database with Lexical Semantic Networks*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998.

WACHE, H. *et al.* Ontology-based integration of information – a survey of existing approaches. In: IJCAI, WORKSHOP ON ONTOLOGIES AND INFORMATION SHARING, 2001. [S. l. : s. n.] Disponível em: <<http://citeseer.nj.nec.com/wache01ontologybased.html>>. Acesso em: 01 maio 2002.

WELTY, C.; GUARINO, N. Supporting ontological analysis of taxonomic relationships. *Data & Knowledge Engineering*, v. 39, n. 1, Oct. 2001.

ZDRAHAL, Z. *et al.* Sharing engineering design knowledge in a distributed environment. *Behaviour and Information Technology*, v. 19, n. 3, p. 189-200, 2000.