

COMPARTILHAMENTO DE CONHECIMENTO EM SAÚDE UTILIZANDO ONTOLOGIAS E BANCOS DE DADOS DEDUTIVOS

Fabiane Bizinella Nardon¹
e-mail: fabiane.nardon@uol.com.br

Lincoln de Assis Moura Jr.^{1,2}
e-mail: lincoln@atech.br

¹Escola Politécnica - Universidade de São Paulo
Av. Dr. Luciano Gualberto, 380
São Paulo - SP

²Atech Tecnologias Críticas
Rua Funchal, 263 - 9º Andar
São Paulo - SP

RESUMO

Compartilhamento de conhecimento na área da saúde é essencial para a construção do prontuário eletrônico do paciente. Este artigo demonstra como as tecnologias propostas para a construção da Web Semântica, especialmente o padrão RDF e ontologias descritas em DAML+OIL, podem ser combinadas com uma linguagem de consulta baseada em sistemas de bancos de dados dedutivos para permitir o compartilhamento de bases de conhecimento e a resolução de consultas complexas.

PALAVRAS-CHAVE: Web Semântica, RDF, DAML+OIL, ontologias, bancos de dados dedutivos.

ABSTRACT

Knowledge sharing in healthcare is fundamental when building the Electronic Patient Record. This paper discuss how the Semantic Web technologies, especially RDF and DAML+OIL ontologies, can be combined with a query language based on deductive database systems to share knowledge bases and solve complex queries.

KEY-WORDS: Semantic Web, RDF, DAML+OIL, ontology, deductive databases.

1. Introdução

A integração de informações clínicas é um dos grandes desafios da área de pesquisa em informática em saúde. Uma vez que a mesma pessoa recebe atendimento em diversas instituições de saúde ao longo de sua vida, suas informações ficam distribuídas em diferentes sistemas de informação, que tipicamente são executados em plataformas de hardware e software heterogêneas. Além disso, existe uma enorme variedade de diferentes vocabulários que podem ser utilizados para codificar estas informações e, embora existam iniciativas que buscam criar mapeamentos entre estes vocabulários (UMLS, 2003), a integração das informações ainda está longe de ser uma tarefa trivial. O fato de muitas instituições utilizarem vocabulários proprietários ou simplesmente não codificarem algumas informações aumenta a complexidade do problema.

Ser capaz de integrar as informações em saúde é importante não só para obter o histórico clínico de um indivíduo espalhado nas diversas instituições de saúde onde ele foi atendido, como para efetuar consultas horizontais, como, por exemplo, busca por casos clínicos similares. A

infinidade de formas como a mesma informação pode ser representada na área da saúde e a falta de mecanismos de busca mais poderosos torna este tipo de tarefa extremamente difícil.

O exemplo apresentado na Figura 1, embora seja bastante simples, ilustra as dificuldades encontradas na tentativa de responder a consultas na área da saúde. Neste exemplo, intuitivamente, a resposta correta à consulta 1 seria pacientes João e Pedro e a resposta à consulta 2 seria João, Maria, Pedro e Paulo. No entanto, como as informações estão representadas de forma diferente nos dois bancos de dados, não é possível responder à consulta 1 sem o auxílio de meta-informações que estabeleçam o relacionamento de equivalência entre o conceito representado no banco de dados A (Câncer no Fígado) e o conceito representado no banco de dados B (Câncer Hepático). Da mesma forma, para responder à consulta 2, é necessário que exista meta-informação indicando que o conceito "Câncer Hepático" é um tipo de câncer.

Consulta 1: <i>Recupere todos os pacientes com diagnóstico de câncer hepático</i>					
Consulta 2: <i>Recupere todos os pacientes com diagnóstico de câncer</i>					
Instituição A			Instituição B		
Paciente	Diagnóstico	Órgão	Paciente	Diagnóstico	
João	Câncer	Fígado	Pedro	Câncer Hepático	
Maria	Câncer	Pulmão	Paulo	Câncer Pulmonar	

Figura 1 - Exemplos de consulta em sistemas de informação em saúde

A dificuldade de integração entre bases de dados heterogêneas para compartilhamento de conhecimento não ocorre apenas na área da saúde e tem sido tema de estudo durante muitos anos (HUNTER, 2001). Uma das técnicas mais adotadas para abordar este problema é a criação de ontologias para representar o conhecimento do domínio. Uma ontologia é uma descrição de conceitos e dos relacionamentos que podem existir entre estes conceitos em um determinado domínio.

Recentemente, com o surgimento de pesquisas para a construção da Web Semântica (SEMANTIC WEB, 2003), foram criados novos padrões para representação de conhecimento que estão tornando a possibilidade de compartilhamento de informações uma realidade. O objetivo deste artigo é apresentar como estas tecnologias podem ser utilizadas para compartilhar conhecimento na área da saúde, através de um sistema que utiliza os padrões propostos para a Web Semântica, um mecanismo de inferência baseado em bancos de dados dedutivos e um mapeamento do padrão UMLS (Unified Medical Language System) para RDF e DAML+OIL.

2. Representação de Conhecimento

Para que possa haver compartilhamento de conhecimento, é necessário que exista uma forma padronizada para representá-lo. No passado, várias tentativas de padronizar a representação de

conhecimento (GENESERETH, 1994, FENSEL, 2000) foram propostas sem que nenhuma alcançasse um alto grau de aceitação.

Especificamente na área da saúde, as tentativas de padronização de representação de conhecimento mais ambiciosas são a Sintaxe Arden (HRIPCSAK, 1994) e o Good Electronic Health Record (GEHR) (GEHR, 2002), sendo que nenhum deles atingiu um alto grau de aceitação.

O problema de compartilhamento de conhecimento é similar ao problema encontrado quando se busca informações na web. Embora a web forme uma enorme base de conhecimento, é extremamente difícil encontrar informação útil utilizando apenas palavras chave. É este problema que Web Semântica busca resolver. A Web Semântica é uma iniciativa que pretende acrescentar informação semântica à web para recuperar conhecimento com maior eficiência.

Um dos pilares da Web Semântica é um padrão chamado RDF (Resource Description Framework) (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM, 2003a). O RDF foi criado para modelar meta-dados sobre recursos disponíveis na Web. Um recurso pode ser tanto uma página Web, quanto qualquer outro documento. Ampliando o conceito de recurso para qualquer pedaço de informação, e não só para as informações disponíveis na Web, pode-se utilizar o RDF para representar qualquer tipo de conhecimento, incluindo bases de dados em saúde.

Basicamente, duas características tornam o padrão RDF mais atraente do que qualquer um dos outros padrões para representação de conhecimento já propostos. A primeira característica é o fato de o RDF ser muito simples e flexível. A segunda é o fato de que cada conceito representado em RDF tem associado a ele um URI (Uniform Resource Identifier). Um URI (BERNERS-LEE, 1998) é um identificador único para um recurso. Alguns exemplos de URI são "http://www.hospitalexemplo.com.br#paciente", que poderia definir o conceito de paciente dentro do "Hospital Exemplo"; e "mailto:joao@hospitalexemplo.com.br", que poderia ser usado para identificar o indivíduo "João". Como as URIs são universalmente unívocas, não há possibilidade de dois conceitos diferentes serem representados com o mesmo identificador, o que resolve um dos tipos de conflito encontrados no compartilhamento de conhecimento.

O elemento básico de representação de conhecimento em RDF são as declarações, conhecidas como *triples* ou *statements*. Estas declarações são feitas sob a forma "sujeito predicado objeto", significando que "sujeito" possui uma propriedade "predicado" com o valor de "objeto". Toda declaração deste tipo forma um grafo dirigido, onde o sujeito e o predicado são nodos e o predicado é o arco. No exemplo da Figura 2, estão representadas duas declarações. A primeira diz que o paciente ID1234 (sujeito) tem como médico responsável (predicado) uma pessoa chamada João (objeto). A segunda declaração determina que o paciente ID1234 (sujeito) possui

um diagnóstico (predicado) de câncer hepático (objeto). Cada sujeito, objeto e predicado possui uma URI que identifica univocamente um conceito. A URI que identifica o conceito "Câncer Hepático", por exemplo, remete à entidade que criou o vocabulário sob o qual este conceito está codificado. As demais URIs se referem a conceitos definidos pelo próprio hospital.

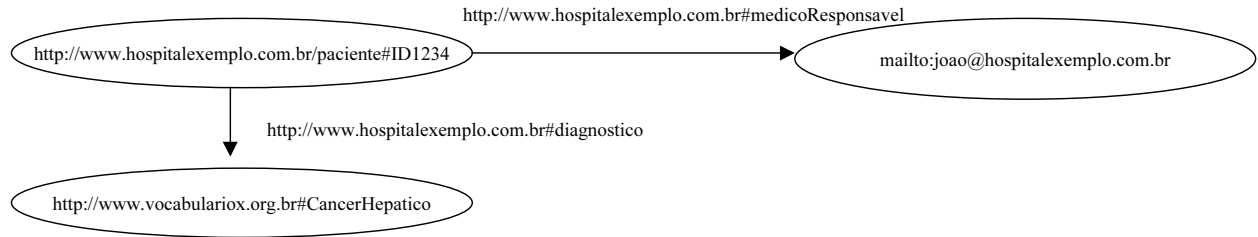


Figura 2 - Exemplo de grafo RDF

Faz parte da especificação do padrão RDF uma forma de representação dos grafos em XML. O exemplo da Figura 2 poderia ser representado em XML da seguinte forma:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<rdf:RDF xmlns:he="http://www.hospitalexemplo.com.br#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.hospitalexemplo.com.br/paciente#ID1234">
  <he:medicoResponsavel>mailto:joao@hospitalexemplo.com.br</he:medicoResponsavel>
  <he:diagnostico>http://www.vocabulariox.org.br#CancerHepatico</he:diagnostico>
</rdf:Description>
```

Este exemplo utiliza o conceito de namespace para definir aliases para parte de uma URI ("http://www.hospitalexemplo.com.br#" é referenciado no documento pelo seu aliás "he").

Além das declarações, faz parte da especificação do padrão RDF uma série de conceitos que permitem criar esquemas para representação de conhecimento. Entre estes conceitos estão o `rdfs:Class`, para definição de uma classe, `rdfs:subClassOf`, para definição de subclasses, `rdfs:Datatype`, para especificação de tipos de dados, `rdfs:range`, que é utilizado para estabelecer que os valores possíveis de um determinado predicado devem pertencer a uma determinada classe, e uma série de outros conceitos genéricos, não associados a um domínio específico.

O RDF não possui construções que permitam representar ontologias e por isso existem algumas extensões do RDF criadas com este propósito. A mais utilizada destas extensões é a DAML+OIL, formada pelo DARPA Agent Markup Language (DARPA, 2003) e pelo Ontology Inference Layer (FENSEL, 2000). A DAML+OIL está sendo usado como base para o padrão OWL (Ontology Web Language) (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM, 2003b) que está sendo criado pelo W3C.

Apenas como exemplo, alguns dos conceitos acrescentados ao RDF pelo DAML+OIL são: `daml:sameClassAs`, que permite determinar que duas classes com URIs diferentes são na verdade a mesma classe, `daml:sameIndividualAs`, que permite especificar que dois recursos com URIs

diferentes representam na verdade o mesmo recurso, `daml:inverseOf`, que determina que duas propriedades são inversas uma da outra (por exemplo: se a propriedade "pai" é inversa da propriedade "filho" e se existe uma declaração de que João é pai de Pedro, pode-se deduzir que Pedro é filho de João).

Tanto os conceitos definidos pelo padrão RDF quanto pelo padrão DAML+OIL são apenas para informação, ou seja, não existe nenhum mecanismo embutido nestes dois padrões que garanta que um determinado esquema está sendo respeitado por uma base de conhecimento associada a ele. Além disso, ainda não foi criada uma linguagem de consulta padronizada sobre estes padrões, embora vários esforços estejam em andamento (PRUD'HOMMEAUX, 2003).

3. Inferência sobre Bases de Conhecimento

Para que uma base de conhecimento criada sobre uma ontologia definida pelos padrões RDF e DAML+OIL possa ser utilizada na prática, é necessário que esteja disponível um mecanismo de inferência capaz de utilizar as informações representadas na ontologia para responder a consultas.

Existem diversas implementações de linguagens de consulta que inferem informação a partir de um conjunto de documentos representado em RDF (PRUD'HOMMEAUX, 2003). Muitas destas linguagens utilizam a tecnologia de bancos de dados dedutivos para realizar as inferências necessárias e responder a consultas complexas.

Sistemas de Bancos de Dados Dedutivos (CERI, 1990) são sistemas capazes de fornecer todos os serviços de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados tradicional e que permitem, adicionalmente, a dedução de novas informações a partir daquelas explicitamente inseridas no Banco de Dados. A dedução de novas informações é realizada por um conjunto de regras dedutivas que fazem parte do esquema do Banco de Dados Dedutivo. As relações que contêm as informações explicitamente inseridas, são chamadas de *relações básicas* e as relações que são deduzidas pelas regras dedutivas são chamadas de *relações derivadas*. Os Sistemas de Bancos de Dados Dedutivos utilizam uma linguagem de consulta baseada em lógica, que, além de ser uma linguagem declarativa, permite que se expressem consultas recursivas.

Geralmente, os sistemas de bancos de dados dedutivos utilizam uma linguagem de consulta semelhante ao prolog, conhecida como Datalog. O Datalog (CERI, 1990) é uma linguagem de consulta declarativa baseada em lógica que não possui predicados pré-definidos, negação, disjunção e símbolos funcionais. Uma regra é avaliada derivando o conjunto de todas as constantes possíveis que fazem a cabeça da regra verdadeira, e designando estes valores para a nova relação derivada que é a cabeça da regra.

A vantagem da utilização de bancos de dados dedutivos em relação a outros mecanismos de inferência da Inteligência Artificial é que os bancos de dados dedutivos foram criados para tratar de grandes volumes de dados. Outros mecanismos similares, como regras Prolog, utilizam normalmente uma base de fatos bastante reduzida. As bases de dados tratadas pelas aplicações típicas da Web Semântica e da área da saúde, no entanto, são grandes e necessitam de um mecanismo capaz de tratar este aspecto.

4. O Sistema TRI-DEDALO

O sistema apresentado neste artigo foi construído a partir do Sistema Gerenciador de Bancos de Dados Dedutivos DEDALO (DEdução, DAdos e LÓgica), proposto em (NARDON, 1996). O Sistema TRI-DEDALO é um banco de dados dedutivo que utiliza uma linguagem de consulta que estende o Datalog, introduzindo negação, funções agregadas, operações aritméticas, disjunção, operações de comparação e operações de atualização. Adicionalmente, foram criadas notações que permitem referenciar os atributos pelo seu nome e não por sua posição. Uma regra na linguagem TRI-DEDALO possui a seguinte forma:

$$p(atr_1?argc_1, atr_2?argc_2, \dots, atr_n?argc_n) :- q_1(atr_1?arg_1, \dots, atr_n?arg_n), \dots, \\ not(q_i(atr_1?arg_1, \dots, atr_n?arg_n)), \dots; q_n(atr_1?arg_1, \dots, atr_n?arg_n), arg'_1 \delta arg'_2.$$

onde $p(atr_1?argc_1, atr_2?argc_2, \dots, atr_n?argc_n)$ é a cabeça da regra, $q_1(atr_1?arg_1, \dots, atr_n?arg_n), \dots, not(q_i(atr_1?arg_1, \dots, atr_n?arg_n)), \dots; q_n(atr_1?arg_1, \dots, atr_n?arg_n), arg'_1 \delta arg'_2$ é o corpo da regra, sendo que cada um dos q_i s representa uma relação básica ou derivada, atr_i é o nome de um atributo da relação, $argc_i$ é uma variável ligada a um atributo do corpo, ou uma constante, ou uma operação aritmética ou uma função agregada e arg_i é uma variável ligada a um atributo, ou uma constante ou uma operação aritmética. Seguindo a notação utilizada pelo Prolog, a vírgula (,) representa uma conjunção e o ponto-e-vírgula (;) representa a disjunção. As operações de comparação que podem existir no corpo da regra são representadas por $arg'_1 \delta arg'_2$, onde arg'_i é uma variável ligada a um atributo, ou uma constante ou uma expressão aritmética e δ é um dos operadores de comparação permitidos ($>$, $<$, $=$, $<>$, $<=$, $>=$). Cada uma das variáveis que aparecem na cabeça da regra devem estar ligadas a um atributo no corpo da regra, para garantir a correta computação do resultado. Os predicados no corpo da regra podem ser negados (operador *not*).

Na linguagem TRI-DEDALO, se duas ou mais regras possuem a mesma cabeça, isto é interpretado como a relação derivada sendo resultado da união dos conjuntos de tuplas derivadas

de cada uma das regras. A presença de uma constante ligada a um dos atributos de um predicado do corpo da regra representa uma condição que deve ser satisfeita pelas tuplas da relação representada pelo predicado, ou seja, serão selecionadas as tuplas da relação cujo atributo possua valor igual à constante informada.

A negação no sistema TRI-DEDALO é computada pela *hipótese do mundo fechado*, que estabelece que fatos não conhecidos verdadeiros são assumidos falsos. Grande parte dos Sistemas de Bancos de Dados Dedutivos existentes, considera que a negação só é computável se todas as variáveis presentes no predicado negativo aparecem também em um predicado positivo do corpo da regra. No sistema TRI-DEDALO, a negação é considerada computável se pelo menos um atributo do predicado negativo está associado a uma variável que aparece em um predicado positivo ou a uma constante. Esta condição faz com que a regra seja computável da mesma forma e torna a linguagem mais flexível, permitindo assim a expressão de todas as construções da ontologia DAML+OIL em regras TRI-DEDALO.

Uma regra quando computada pelo sistema TRI-DEDALO, pode ser considerada apenas uma consulta ou como a criação de uma nova relação derivada que poderá ser utilizada no corpo de outras regras.

Para adequar o sistema TRI-DEDALO à sintaxe do padrão RDF, duas alterações foram introduzidas na sua linguagem: a primeira permite que URIs sejam utilizados para representar nomes de relações e de atributos. A segunda introduz uma relação especial na linguagem TRI-DEDALO para representar as declarações (*statements*). O exemplo a seguir demonstra uma consulta na linguagem TRI-DEDALO que retorna todos os pacientes cujo médico responsável é "João".

```
consulta(nome?x) :- statement(subject?x,  
                             predicate?<http://www.hospitalexemplo.com.br#medicoResponsavel>,  
                             object?<mailto:joao@hospitalexemplo.com.br>).
```

Além disso, a linguagem TRI-DEDALO suporta a declaração de namespaces e permite que a relação especial *statement* seja utilizada na cabeça da regra, dando assim origem a *statements* inferidos.

As relações básicas contidas no banco de dados, e que tipicamente não estão sob a forma de declarações RDF, podem ser facilmente convertidas, através da seguinte regra de transformação:

Relação Básica: *pacientes(nome?"João", diagnostico?<umls:Cancer>).*

Equivale a:

```
statement(subject?"pacientes:"+x, predicate?pacientes:nome, object?x) :- pacientes(nome?x).  
statement(subject?"pacientes:"+x, predicate?pacientes:diagnostico, object?x) :-  
    pacientes(diagnostico?x).
```

ou seja, para cada coluna da tabela é criada uma regra onde o sujeito equivale à concatenação da URI que representa a tabela com o valor da sua chave primária, o predicado equivale a uma URI formada pela tabela e pelo nome da coluna e o objeto equivale ao valor da coluna.

Toda regra TRI-DEDALO pode ser traduzida em sentenças SQL, seguindo o algoritmo apresentado em (NARDON, 1996). Desta forma, o sistema TRI-DEDALO pode ser utilizado com qualquer sistema gerenciador de banco de dados relacional.

5. Utilizando o sistema TRI-DEDALO para processar bases de conhecimento criadas com ontologias DAML+OIL

Uma ontologia representada em RDF e DAML+OIL pode ser traduzida em termos de regras TRI-DEDALO e assim pode-se utilizar o conhecimento descrito na ontologia para inferir novos fatos e responder a consultas não triviais. A tradução de alguma das construções RDF e DAML+OIL, descritas na seção 2, para regras TRI-DEDALO é apresentada a seguir:

RDF subClassOf:

1. $statement(subject?x, predicate?rdfs:subClassOf, object?y) :- statement(subject?x, predicate?rdfs:subClassOf, object?z), statement(subject?z, predicate?rdfs:subClassOf, object?y).$
2. $statement(subject?x, predicate?rdf:type, object?y) :- statement(subject?x, predicate?rdf:type, object?z), statement(subject?z, predicate?rdfs:subClassOf, object?y).$
3. $statement(subject?x, predicate?y, object?z) :- statement(subject?x, predicate?y, object?w), statement(subject?w, predicate?rdfs:subClassOf, object?z).$

DAML+OIL sameClassAs:

$statement(subject?x, predicate?rdf:type, object?y) :- statement(subject?x, predicate?rdf:type, object?z), statement(subject?z, predicate?daml:sameClassOf, object?y).$

DAML+OIL inverseOf:

$statement(subject?x, predicate y, object?z) :- statement(subject?y, predicate?daml:inverseOf, object?w), statement(subject?z, predicate?w, object?x).$

Exemplo:

RDF: CancerHepatico rdfs:subclassOf Cancer

Consulta: $temCancer(nome?x) :- statement(subject?x, predicate?he:diagnostico, object?vocabulario:Cancer).$

Tuplas na relação statement antes da aplicação das regras relativas a subClassOf:

Subject	Predicate	Object
vocabulario:CancerHepatico	rdfs:subClassOf	vocabulario:Cancer
he:ID1234	he:diagnostico	vocabulario:CancerHepatico

Neste exemplo, a partir das regras de derivação definidas na linguagem TRI-DEDALO para a construção subClassOf, novas tuplas seriam derivadas para a relação *statement*, sendo que uma

delas seria: *statement(subject?he:ID1234, predicate?he:diagnostico, object?vocabulario:Cancer)*, permitindo assim responder corretamente a consulta.

Estes exemplos de conversão demonstram como uma ontologia poderia ser utilizada para computar novas declarações e assim poder responder a consultas não só com os fatos explicitamente inseridos na base de dados, mas também com o conhecimento expresso pela ontologia sobre os relacionamentos existentes entre estes fatos.

6. Traduzindo UMLS para uma ontologia RDF/DAML+OIL

O UMLS é, talvez, a mais completa ontologia existente na área da saúde, por definir conceitos e relacionamentos entre um grande número de vocabulários. Faz parte do UMLS uma rede semântica que tem como objetivo prover uma categorização de todos os conceitos representados pelo UMLS Metathesaurus e os relacionamentos importantes existentes entre eles. Infelizmente, ainda não existe uma representação oficial da rede semântica do UMLS em termos de declarações RDF ou mesmo em termos de uma ontologia DAML+OIL. Em função disto, este trabalho propõe uma representação que busca capturar os relacionamentos presentes da rede semântica do UMLS em termos de relacionamentos RDF ou DAML+OIL, que depois poderão ser utilizados pelo mecanismo de inferência do sistema TRI-DEDALO para inferir conhecimento adicional.

```
<!-- Tipos da rede semântica UMLS -->
<rdfs:Class rdf:ID="Entity" />
<rdfs:Class rdf:ID="PhysicalObject">
  <rdfs:subClassOf rdf:about="#Entity"/>
</rdfs:Class>
<rdfs:Class rdf:ID="Animal">
  <rdfs:subClassOf rdf:about="#PhysicalObject"/>
</rdfs:Class>
<!-- Relacionamentos definidos pela rede semântica UMLS -->
<rdfs:Property rdf:ID="isa">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:about="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdfs:Property>
<rdfs:Property rdf:ID="associated_with"/>
<rdfs:Property rdf:ID="spatially_related_to">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:about="#associated_with"/>
</rdfs:Property>
<rdfs:Property rdf:ID="location_of">
  <rdfs:subPropertyOf rdf:about="#spatially_related_to"/>
</rdfs:Property>
```

Figura 3 - Parte da Ontologia criada para a rede semântica do UMLS

A estratégia adotada para criar esta tradução é utilizar as construções presentes no RDF e DAML+OIL sempre que houver equivalência semântica entre os conceitos (por exemplo, relacionamento "isa" do UMLS é equivalente a `rdfs:subClassOf`). Em situações onde a equivalência semântica não foi encontrada, um novo elemento da ontologia foi criado (por exemplo, o relacionamento "location_of" não tem equivalência em RDF ou DAML+OIL). A

Figura 3 apresenta uma pequena parte da ontologia criada. Parte da ontologia advém da hierarquia para os tipos semânticos existentes na rede semântica do UMLS e outra parte é obtida dos relacionamentos presentes na rede semântica do UMLS.

7. Conclusão e trabalhos futuros

As técnicas baseadas em ontologias e bancos de dados dedutivos apresentadas neste trabalho permitem compartilhar conhecimento na área da saúde de forma eficiente e flexível. Particularmente, o uso de padrões largamente aceitos tanto pela comunidade científica quanto pela indústria, como o padrão RDF, permite que um número maior de bases de conhecimento aderentes a este padrão estejam disponíveis. Classificando bases de conhecimento heterogêneas através de ontologias é possível estabelecer o relacionamento entre as informações armazenadas, obtendo assim a interoperabilidade semântica necessária.

Na área da saúde, em particular, ainda é necessário que mais trabalho seja feito com o objetivo de criar ontologias completas e testadas.

8. Referências Bibliográficas

FENSEL, D. OIL in a Nutshell. **European Knowledge Acquisition Conference (EKAW-2000)**. Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, 2000.

DARPA. **DARPA Agent Markup Language (DAML)**. 2003. Disponível em <<http://www.daml.org/>>. Acesso em 4/04/2003.

PRUD'HOMMEAUX, E.; GROSOFF, B. **RDF Query and Rules: A Framework and Survey**, 10 de abr. de 2003. Disponível em: <<http://www.w3.org/2001/11/13-RDF-Query-Rules/>>. Acesso em 14/04/2003.

NARDON, F. B.. **Estudo e Construção De Um Sistema Gerenciador De Bancos De Dados Dedutivos**. 1996. 146p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GEHR. **The Good Electronic Health Record**. Disponível em <<http://www.gehr.org/>>. Acesso em 05/04/2003.

HRIPCSAK, G. Writing Arden Syntax Medical Logic Modules, **Computers in Biology and Medicine**. v. 24, n. 5, p.331-363, set. 1994.

HUNTER, J. MetaNet - A Metadata Term Thesaurus to Enable Semantic Interoperability Between Metadata Domains. **Journal of Digital Information**. v.1, n. 8, ago. 2001.

GENESERETH, M. R.; FIKES, R. E. **Knowledge Interchange Format - Reference Manual**. Stanford: Stanford University, 1994. (Tech. Report Logic-92-1).

SEMANTIC WEB. **Semantic Web**. Web page, Disponível em <<http://www.semanticweb.org/>>. Acessado em 04/04/2003.

CERI, S.; GOTTLOB, G.; TANCA, L. **Logic Programming and Databases**. Berlin: Springer-Verlag, 1990. 284p. (Surveys in Computer Science).

BERNERS-LEE, T. et al. **Uniform Resource Identifiers (URI): Generic Syntax**. Disponível em <<http://www.ietf.org/rfc/rfc2396.txt>>. Acesso em 04/04/2003 .

UMLS. **Unified Medical Language System**. 14th. ed. National Library of Medicine, 2003.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema**. Disponível em <<http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>>. Acesso em 4/04/2003.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **OWL Web Ontology Language Guide - Working Draft**. Disponível em <<http://www.w3.org/TR/owl-guide/>>. Acessado em 4/04/2003.