

# Uma Nova Abordagem de Avaliação de Alinhamentos de Ontologias baseada em Consultas

Esdras Lins Bispo Jr.<sup>1</sup>, Renata Wassermann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Matemática e Estatística (IME) – Universidade de São Paulo (USP)  
Rua do Matão, 1010 - CEP 05508-090 - São Paulo –SP – Brasil

{bispojr, renata}@ime.usp.br

**Abstract.** *This work presents a new approach to evaluate ontology alignments. In contrast to measures based on alignment, this approach proposes a measure which uses the same queries usually processed in original ontologies to assess the quality of proposed alignment. By means of a motivating example, we show some satisfactory results of our approach with regard to standard precision and recall, and relaxed precision and recall.*

**Resumo.** *Este trabalho propõe uma nova abordagem de avaliar alinhamentos de ontologias. Em contraponto às métricas baseadas em alinhamento, a nossa abordagem apresenta uma métrica na qual utiliza as próprias consultas normalmente já realizadas nas ontologias originais para julgar a qualidade do alinhamento proposto. Através de um exemplo de motivação, apresentamos alguns resultados satisfatórios de nossa abordagem em relação às medidas de precisão e cobertura padrão e relaxadas.*

## 1. Introdução

O emparelhamento de ontologias é um problema importante para o qual vários algoritmos (Anchor-PROMPT [Noy and Musen 2001], Lily [Wang and Xu 2009], RiMOM [Wang et al. 2010]) já foram propostos. Para um dado par de ontologias, estes algoritmos propõem um conjunto de correspondências entre entidades destas ontologias chamado alinhamento.

Este trabalho tem como proposta apresentar uma nova abordagem de avaliar os alinhamentos de ontologias. As abordagens usuais avaliam o alinhamento proposto utilizando uma métrica baseada em um alinhamento de referência. A nossa abordagem apresenta uma métrica na qual utilizamos as próprias consultas normalmente já realizadas nas ontologias originais para julgar a qualidade do alinhamento proposto.

O restante do trabalho está dividido como se segue. A Seção 2 faz uma breve apresentação de algumas definições importantes. A Seção 3 descreve as métricas baseadas em alinhamento e duas abordagens adotando esta perspectiva. A Seção 4 propõe uma métrica baseada em consultas como uma nova abordagem de avaliação de alinhamentos. A Seção 5 aplica a métrica baseada em consultas em contraste às duas outras métricas baseada em alinhamento para um exemplo dado. Por fim, a Seção 6 traz algumas conclusões e considerações finais.

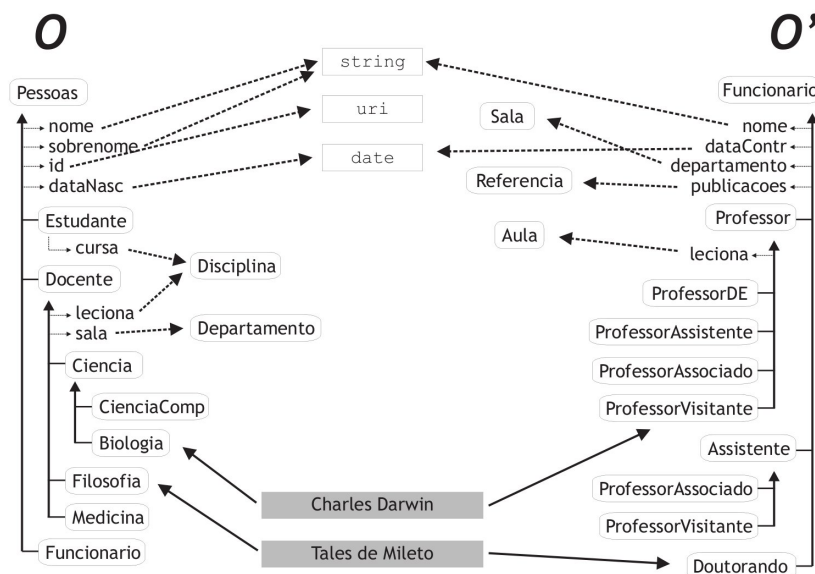
## 2. Fundamentos

Na área de emparelhamento de ontologias, muitas vezes são utilizadas palavras diferentes para se referir a conceitos similares e, às vezes, diferentes conceitos são referidos pela mesma palavra [Euzenat 2001, Kalfoglou and Schorlemmer 2003, Noy and Klein 2004]. Para evitar alguns mal-entendidos, serão explicitadas a seguir algumas definições importantes neste trabalho.

**Definição 1** (Alinhamento, Correspondência). *Dadas duas ontologias  $O$  e  $O'$ , um alinhamento entre  $O$  e  $O'$  é um conjunto de correspondências (i.e. 4-uplas):  $\langle e, e', r, n \rangle$  em que  $e \in O$  e  $e' \in O'$  são as duas entidades emparelhadas,  $r$  é uma relação entre  $e$  e  $e'$ , e  $n$  expressa uma medida de confiança em  $[0; 1]$  desta correspondência.*

Como exemplo de motivação, utilizaremos ao decorrer do trabalho duas ontologias em que cada uma foi projetada para uma universidade diferente (Figura 1). Estas ontologias representam informações sobre o seu quadro de funcionários.

Podemos apresentar a correspondência  $\langle \text{Docente}, \text{ProfessorDE}, \equiv, .9 \rangle$ , por exemplo, que emparelha a entidade **Docente** com a entidade **ProfessorDE** das ontologias da Figura 1. Esta correspondência determina uma relação de equivalência ( $\equiv$ ) entre as entidades, admitindo uma confiabilidade de 90%.



**Figura 1.** Duas ontologias que representam informações sobre o quadro de funcionários em duas universidades diferentes.

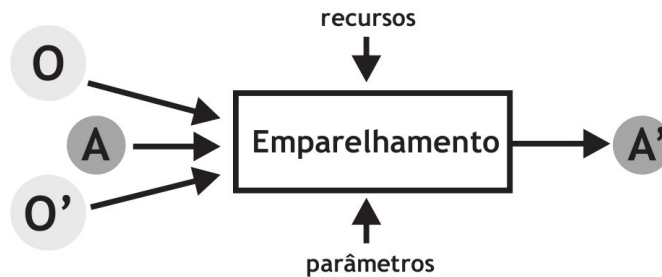
Existe uma forma mais concisa e elegante de representar uma correspondência. Ao invés de  $\langle \text{Docente}, \text{ProfessorDE}, \equiv, .9 \rangle$ , podemos reescrever a 4-upla desta forma:  $\text{Docente} \equiv_{.9} \text{ProfessorDE}$ . Na Tabela 1, apresentamos quatro alinhamentos para as ontologias da Figura 1 representando suas correspondências desta forma.

**Definição 2** (Emparelhamento). *Uma operação de emparelhamento determina o alinhamento  $A'$  para um par de ontologias  $O$  e  $O'$ . Existem alguns outros parâmetros que podem estender a definição de um processo de emparelhamento, a saber:*

**Tabela 1. Alinhamentos  $A_1, A_2, A_3$  e  $R$  e suas respectivas correspondências.**

|       |  |  |
|-------|--|--|
| $A_1$ | Departamento $\equiv$ departamento<br>leciona $\equiv$ leciona<br>sala $\equiv$ Sala         | nome $\sqsubseteq$ nome<br>Estudante $\sqsubseteq$ Doutorando                                    |
| $A_2$ | Docente $\sqsubseteq$ Professor<br>Disciplina $\equiv$ Aula<br>Pessoas $\equiv$ Funcionario  | Departamento $\equiv$ Sala<br>sala $\equiv$ departamento<br>leciona $\equiv$ leciona             |
| $A_3$ | Docente $\sqsubseteq_{.9}$ ProfessorDE<br>nome $\equiv$ nome<br>leciona $\equiv$ leciona     | Estudante $\equiv$ Doutorando<br>Funcionario $\equiv$ Assistente                                 |
| $R$   | Estudante $\sqsubseteq$ Doutorando<br>sala $\equiv$ departamento<br>leciona $\equiv$ leciona | Docente $\equiv_{.9}$ ProfessorDE<br>Disciplina $\equiv_{.7}$ Aula<br>Departamento $\equiv$ Sala |

- (i) o uso de um alinhamento de entrada ( $A$ ) o qual está para ser completado pelo processo;
- (ii) os parâmetros do emparelhamento,  $p$  (e.g. pesos, limiares); e
- (iii) recursos externos utilizados pelo processo,  $r$  (e.g. thesauri); ver Figura 2.

**Figura 2. O processo de emparelhamento de ontologias.**

### 3. Métricas baseadas em Alinhamento

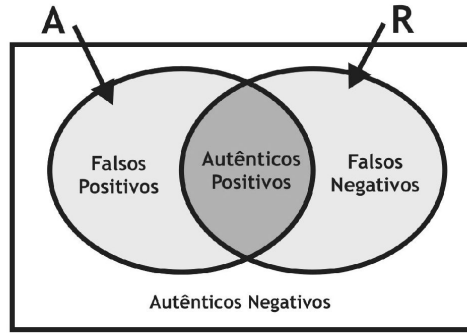
As métricas baseadas em alinhamento têm como princípio básico confrontar um alinhamento proposto com um alinhamento de referência. Estas métricas surgiram da necessidade de avaliar a qualidade de alinhamentos produzidos por um algoritmo de emparelhamento de ontologias [Do et al. 2003].

A primeira tarefa é fazer o emparelhamento entre as ontologias manualmente. O alinhamento resultante obtido manualmente é utilizado como o padrão de referência para avaliar a qualidade do resultado determinado automaticamente pelo algoritmo. Normalmente é um especialista no domínio o qual as ontologias representam que executa esta tarefa. Este alinhamento é chamado de alinhamento de referência ( $R$ ).

A próxima etapa é comparar as correspondências do alinhamento de referência em relação às correspondências do alinhamento proposto pelo sistema ( $A$ ). Podemos classificar esta relação entre as correspondências destes dois alinhamentos em quatro conjuntos (ver Figura 3):

- **os falsos positivos** ( $A \setminus R$ ): são correspondências desnecessárias em  $R$ , mas propostas em  $A$ ;
- **os falsos negativos** ( $R \setminus A$ ): são correspondências necessárias em  $R$ , mas não propostas em  $A$ ;
- **os autênticos negativos** ( $(A \cup R)^c$ ): são correspondências desnecessárias em  $R$  que não são propostas em  $A$ ;
- **os autênticos positivos** ( $A \cap R$ ): são correspondências necessárias em  $R$  que são propostas em  $A$ .

Baseadas na cardinalidade destes conjuntos, duas medidas são comumente utilizadas: precisão e cobertura. Estas medidas são originárias da área de recuperação da informação [van Rijsbergen 1975]. Elas vêm sendo utilizadas de várias formas nas métricas baseadas em alinhamento. Apresentaremos a seguir, a precisão e cobertura padrão (Subseção 3.1) e a precisão e cobertura relaxada (Subseção 3.2).



**Figura 3.** Sobreposição entre as correspondências do alinhamento de referência e as correspondências do alinhamento proposto.

### 3.1. Precisão e cobertura padrão

A precisão e a cobertura padrão são dadas a seguir:

**Definição 3** (Precisão Padrão). *Dado um alinhamento de referência  $R$ , a precisão de um alinhamento  $A$  é dada por*

$$P(A, R) = \frac{|A \cap R|}{|A|}$$

**Definição 4** (Cobertura Padrão). *Dado um alinhamento de referência  $R$ , a cobertura de um alinhamento  $A$  é dada por*

$$C(A, R) = \frac{|A \cap R|}{|R|}$$

A precisão padrão tem como objetivo indicar a presença dos falsos positivos no alinhamento proposto. Podemos reescrever a Definição 3 da seguinte forma:

$$P(A, R) = \frac{|A \cap R|}{|A \cap R| \cup |A \setminus R|}$$

Assim um alinhamento de precisão máxima (valor 1) é aquele que não apresenta falsos positivos, isto é,  $|A \setminus R| = \emptyset$ .

Já a cobertura padrão tem como objetivo indicar a presença dos falsos negativos no alinhamento proposto. Podemos reescrever a Definição 4 da seguinte forma:

$$C(A, R) = \frac{|A \cap R|}{|A \cap R| \cup |R \setminus A|}$$

Assim um alinhamento de cobertura máxima (valor 1) é aquele que não apresenta falsos negativos, isto é,  $|R \setminus A| = \emptyset$ .

Um alinhamento ideal seria aquele que não contivesse falsos positivos, nem falsos negativos. O alinhamento ideal seria composto por apenas autênticos positivos. Logo, é necessário levar em conta tanto a precisão quanto a cobertura na avaliação da qualidade do alinhamento proposto.

Por isso, utiliza-se também em conjunto com a precisão e a cobertura, uma medida combinada de ambas chamada medida-F:

**Definição 5** (Medida-F). *Dado um alinhamento de referência  $R$  e um número  $\alpha \in [0; 1]$ , a medida-F de um alinhamento  $A$  é dada por*

$$M_\alpha(A, R) = \frac{P(A, R) \times C(A, R)}{(1 - \alpha) \times P(A, R) + \alpha \times C(A, R)}$$

Se  $\alpha = 1$ , então a medida-F é igual à precisão, e se  $\alpha = 0$ , a medida-F é igual à cobertura. Quanto maior for o valor de  $\alpha$ , maior importância é dada à precisão em relação à cobertura. Frequentemente, utiliza-se o valor de  $\alpha = 0,5$ , isto é,

$$M_{0,5}(A, R) = \frac{2 \times P(A, R) \times C(A, R)}{P(A, R) + C(A, R)}$$

Como os autênticos negativos não são propostos em  $R$  e nem no alinhamento  $A$ , tornam-se relevantes para fins de avaliação apenas os outros três conjuntos anteriormente apresentados.

### 3.2. Precisão e cobertura relaxada

Existem algumas críticas às medidas de precisão e cobertura padrão. A primeira é que elas não conseguem discriminar sempre entre um alinhamento totalmente errado e um quase correto. Isto deve-se principalmente à função de sobreposição utilizada. Ao calcular a intersecção entre  $A$  e  $R$ , as medidas de precisão e cobertura padrão ignoram a proximidade entre as correspondências e aceitam somente correspondências idênticas.

A função de sobreposição adotada nas medidas de precisão e cobertura padrão trata da mesma forma estes dois pares de correspondências:

- (1) (Estudante  $\sqsubseteq$  Doutorando, Estudante  $\equiv$  Doutorando)
- (2) (Estudante  $\sqsubseteq$  Doutorando, leciona  $\equiv$  leciona)

embora seja óbvio que o par (1) tenha uma maior similaridade entre as correspondências do que o par (2).

Uma outra crítica é uma consequência da primeira. Estas métricas não conseguem estimar o esforço do usuário para adaptar o alinhamento. Após proposto, o alinhamento normalmente é refinado pelo usuário, corrigindo as eventuais inadequações que quase sempre aparecem em um alinhamento proposto automaticamente. Ao não informar qualquer indicativo da proximidade das correspondências, estas métricas podem avaliar dois alinhamentos com a mesma valoração, mesmo que um destes seja de maior qualidade do que o outro.

Com o intuito de resolver esta fragilidade, foram propostas medidas de precisão e cobertura relaxadas [Ehrig and Euzenat 2005]. A idéia é substituir a função de sobreposição utilizada na abordagem padrão por uma outra função que calcule a similaridade entre as correspondências. As medidas de precisão e a cobertura relaxadas são dadas a seguir:

**Definição 6** (Precisão Relaxada). *Dado um alinhamento de referência  $R$  e uma função de sobreposição  $\omega_P$ , a precisão relaxada de um alinhamento  $A$  é dada por*

$$P_\omega(A, R) = \frac{\omega_P(A, R)}{|A|}$$

**Definição 7** (Cobertura Relaxada). *Dado um alinhamento de referência  $R$  e uma função de sobreposição  $\omega_C$ , a cobertura relaxada de um alinhamento  $A$  é dada por*

$$C_\omega(A, R) = \frac{\omega_C(A, R)}{|R|}$$

A função de sobreposição  $\omega$  atende às seguintes propriedades:

- (1)  $\forall A, B \quad \omega(A, B) \geq 0$  (positividade)
- (2)  $\forall A, B \quad \omega(A, B) \leq \min(|A|, |B|)$  (maximalidade)
- (3)  $\forall A, B \quad \omega(A, B) \geq |A \cap B|$  (minimalidade)

O propósito destas propriedades é que as medidas de precisão e a cobertura relaxadas sejam uma extensão da abordagem padrão. As propriedades (1) e (2) garantem que elas variam no intervalo  $[0; 1]$ . A propriedade (3) garante que elas terão, na pior das hipóteses, a mesma valoração da abordagem padrão, ou contribuirão informando uma valoração maior.

#### 4. Métricas baseadas em Consultas

Apresentamos até agora as métricas mais comumente utilizadas para fornecer a avaliação de alinhamentos de ontologias. Estas métricas são dependentes diretamente de um alinhamento de referência, isto é, são métricas baseadas em um alinhamento. Os cálculos de precisão e cobertura realizados por estas métricas são todos obtidos em relação às correspondências pertencentes a este alinhamento.

Estas métricas têm sido bastante utilizadas em competições como a *Ontology Alignment Evaluation Initiative* (OAEI) [Euzenat et al. 2010]. Os alinhamentos propostos pelos sistemas de emparelhamento participantes da competição são comparados aos respectivos alinhamentos de referência. Estes alinhamentos de referências são produzidos por especialistas no domínio de conhecimento no qual a ontologia representa.

Porém, na maioria dos casos, a realidade não funciona como nas competições. Na prática, não se julga um alinhamento proposto a partir de um alinhamento de referência. Pois se há um alinhamento de referência para as ontologias dadas, não haveria necessidade real de propor um outro alinhamento para elas. Para a lógica e estrutura de uma competição, é bem pertinente a idéia de um alinhamento de referência. Contudo isto não parece plausível para a solução de problemas de heterogeneidade em aplicações do mundo real.

É bem verdade que o espírito de uma competição como a OAEI é, na realidade, utilizar os alinhamentos de referência com o objetivo de avaliar não só os alinhamentos propostos, mas principalmente a robustez dos sistemas de emparelhamento participantes. Aquele sistema que propõe os melhores alinhamentos dentro da competição, terá maiores possibilidades de propor bons alinhamentos em aplicações do mundo real. A biblioteca de testes (*benchmark*<sup>1</sup>) a ser executada pelos sistemas no OAEI cobre uma gama bem variada de dificuldades críticas do processo de emparelhamento de ontologias.

O propósito de apresentar uma métrica baseada em consultas é oferecer uma abordagem alternativa ao uso de métricas baseadas em alinhamento.

#### 4.1. Benefícios de uma métrica baseada em consultas

Existem vários benefícios do uso de uma métrica baseada em consultas. O primeiro deles é a possibilidade real do reuso da informação disponível acompanhada às ontologias existentes. Uma quantidade considerável de consultas normalmente já são realizadas para cada ontologia em seus respectivos contextos antes de serem alinhadas. Utilizar-se destas consultas com o propósito de avaliar a qualidade do alinhamento proposto é uma estratégia de abordagem coerente com procedimentos comuns, por exemplo, na área de construção de ontologias [Noy and McGuinness 2001].

Um outro benefício é que cada consulta realizada em uma das ontologias alinhadas está diretamente associada a um fragmento da ontologia. Os fragmentos associados a uma consulta revelam uma parte da ontologia bastante requisitada pela aplicação que a utiliza. Com isto, uma consulta identifica através de seu fragmento um conjunto de entidades como fortes candidatas a participarem das correspondências pertencentes ao alinhamento sugerido.

Temos por fim um problema que consiste em obter o alinhamento para ontologias de grande porte. Conforme apontado em [Gal and Shvaiko 2009], este é um dos grandes desafios para a área de emparelhamento de ontologias hoje. Para ontologias deste porte, até construir um alinhamento de referência torna-se uma tarefa bastante difícil (visto que o processo é manual, tedioso, bastante suscetível a erros e consome um tempo considerável [Noy and Musen 2000]). Além disso, nem sempre temos à disposição um especialista da área para se dedicar a uma tarefa como essa.

<sup>1</sup><http://oaei.ontologymatching.org/2010/>

É bem razoável que um engenheiro do conhecimento escreva um conjunto de consultas em parceria com o especialista da área para serem realizadas sobre o conjunto alinhamento-ontologias. Parece ser bem menos custoso e coerente com os propósitos da aplicação.

#### 4.2. Proposta de implementação

Sejam  $O$  e  $O'$  as duas ontologias alinhadas pelo alinhamento  $A$ . Sejam  $C_O$  e  $C_{O'}$  os respectivos conjuntos de consultas usualmente realizadas para as ontologias  $O$  e  $O'$ . O Algoritmo 1 apresenta a solução para aplicações que exigem apenas um alinhamento que seja unidirecional e o Algoritmo 2 apresenta a solução para aplicações que exigem um alinhamento bidirecional. Os Algoritmos 4 e 5 apresentam as funções que auxiliam no cálculo da precisão e cobertura aplicado a instâncias. A Figura 4 ilustra com um esquema a proposta apresentada.

---

#### Algoritmo 1 - Métrica Baseada em Consultas (Unidirecional)

---

METRICACONSULTASUNIDIRECIONAL( $O, O', C_O, A$ )

1.  $precisao \leftarrow 0$
  2.  $cobertura \leftarrow 0$
  3.  $t_p \leftarrow 0$
  4.  $t_c \leftarrow 0$
  5.  $precisao, cobertura, t_p, t_c \leftarrow METRICACONSULTASAUX(O, O', C_O, A, precisao, cobertura, t_p, t_c)$
  6.  $precisao \leftarrow precisao/t_p$
  7.  $cobertura \leftarrow cobertura/t_c$
  8. **retorne**  $precisao, cobertura$
- 

---

#### Algoritmo 2 - Métrica Baseada em Consultas (Bidirecional)

---

METRICACONSULTASBIDIRECIONAL( $O, O', C_O, C_{O'}, A$ )

1.  $precisao \leftarrow 0$
  2.  $cobertura \leftarrow 0$
  3.  $t_p \leftarrow 0$
  4.  $t_c \leftarrow 0$
  5.  $precisao, cobertura, t_p, t_c \leftarrow METRICACONSULTASAUX(O, O', C_O, A, precisao, cobertura, t_p, t_c)$
  6.  $precisao, cobertura, t_p, t_c \leftarrow$
  7.      $METRICACONSULTASAUX(O', O, C_{O'}, INVERTERALINHAMENTO(A), precisao, cobertura, t_p, t_c)$
  8.  $precisao \leftarrow precisao/t_p$
  9.  $cobertura \leftarrow cobertura/t_c$
  10. **retorne**  $precisao, cobertura$
- 

---

#### Algoritmo 3 - Métrica Baseada em Consultas: Algoritmo Auxiliar

---

METRICACONSULTASAUX( $O, O', C_O, A, precisao, cobertura, t_p, t_c$ )

1. **para** toda consulta  $c$  de  $C_O$  **faça**
  2.      $c_{trans} \leftarrow TRANSFORMARCONSULTA(c, A)$
  3.      $resp_{trans} \leftarrow CONSULTARONTOLOGIA(c_{trans}, O')$
  4.      $resp_{prop} \leftarrow TRADUZIRINSTANCIA(resp_{trans}, INVERTERALINHAMENTO(A))$
  5.      $resp_{ref} \leftarrow CONSULTARONTOLOGIA(c, O)$
  6.      $interseccao, n_p \leftarrow PRECISAOINSTANCIA(resp_{prop}, resp_{ref})$
  7.      $precisao \leftarrow precisao + interseccao$
  8.      $t_p \leftarrow t_p + n_p$
  9.      $interseccao, n_c \leftarrow COBERTURAINSTANCIA(resp_{prop}, resp_{ref})$
  10.      $cobertura \leftarrow cobertura + interseccao$
  11.      $t_c \leftarrow t_c + n_c$
  12. **fim para**
  13. **retorne**  $precisao, cobertura, t_p, t_c$
- 

Existe uma diferença fundamental entre uma métrica baseada em alinhamento e uma métrica baseada em consultas. Para a primeira, o cálculo de precisão e cobertura é



realizado a partir das correspondências dos dois alinhamentos ( $A$  e  $R$ ). Já para a segunda, o cálculo é realizado a partir das instâncias obtidas como respostas das consultas.

Para uma dada consulta de referência  $c_R$ , já são esperadas um conjunto de instâncias como respostas. Ao consultarmos  $c_R$  em uma ontologia, podemos sobrepor os resultados esperados com os resultados obtidos e construir um diagrama semelhante ao da Figura 3.

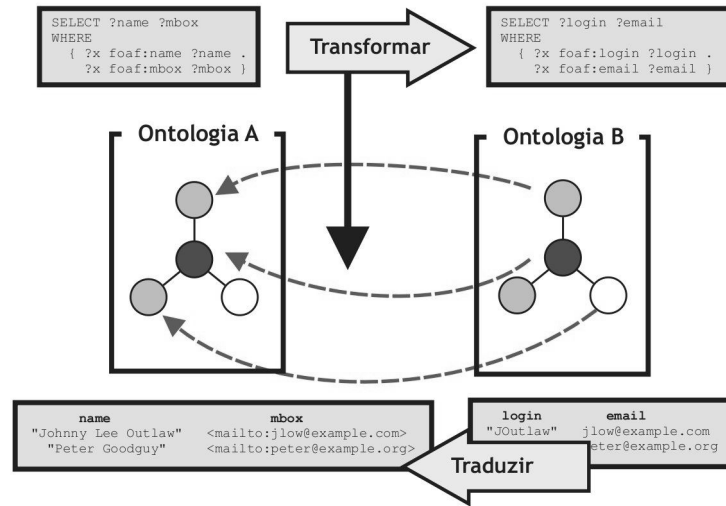


Figura 4. Esquema da abordagem de uma métrica baseada em consultas.

---

#### Algoritmo 4 - Cálculo da Precisão com Instâncias

---

PRECISAOINSTANCIA( $A, R$ )

```

1.  $interseccao \leftarrow 0$ 
2.  $n \leftarrow 0$ 
3. para toda instância  $a$  de  $A$  faça
4.   para toda instância  $r$  de  $R$  faça
5.     se  $a = r$  então
6.        $interseccao \leftarrow interseccao + 1$ 
7.     break
8.   fim se
9. fim para
10.  $n \leftarrow n + 1$ 
11. fim para
12. retorne  $interseccao, n$ 

```

---



---

#### Algoritmo 5 - Cálculo da Cobertura com Instâncias

---

COBERTURAINSTANCIA( $A, R$ )

```

1. retorne PRECISAOINSTANCIA( $R, A$ )

```

---

### 4.3. Dificuldades da abordagem

Para as funções utilizadas no Algoritmo 3, não há dificuldades na implementação de CONSULTARONTOLOGIA e INVERTERALINHAMENTO. A linguagem SPARQL<sup>2</sup>, por exemplo, foi criada com o objetivo de realizar consultas em ontologias. E o processo de inversão de alinhamento é bem trivial. Para isto, invertem-se todas as correspondências do alinhamento (como Docente  $\equiv_9$  ProfessorDE para ProfessorDE  $\equiv_9$  Docente).

<sup>2</sup><http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>

Porém, existem dificuldades reais para a implementação das funções TRANSFORMCONSULTA e TRADUZIRINSTANCIA. Em [Euzenat et al. 2008], apresenta-se até uma proposta para a utilização de consultas em linguagem SPARQL com o intuito de resolver o problema de tradução de dados adicionando novas triplas com a declaração CONSTRUCT. Entretanto o problema de como criar dinamicamente tais consultas, explorando o alinhamento entre as ontologias ainda é uma problema em aberto e um campo de pesquisa relativamente pouco estudado dentro da comunidade da Web Semântica [Correndo et al. 2010].

## 5. Experimentos

Para os experimentos aqui realizados, utilizamos as duas ontologias apresentadas na Figura 1 e os quatros alinhamentos da Tabela 1. Para os experimentos realizados com a métrica baseada em consultas<sup>3</sup>, populamos com indivíduos as duas ontologias já citadas, e criamos um conjunto de oito consultas para a ontologia  $O$  e traduzimos manualmente as consultas a partir dos alinhamentos  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  para serem realizadas na ontologia  $O'$ .

Na Tabela 2, apresentamos os resultados da avaliação dos alinhamentos  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  utilizando as medidas de precisão e cobertura padrão, e a medida-F correspondente. Percebe-se pelos resultados que  $A_2$  é o melhor alinhamento dentre os três propostos. Porém não é possível diferenciar pelos resultados se o alinhamento  $A_1$  é melhor do que o alinhamento  $A_3$ . Os valores de precisão e cobertura dos dois são idênticos.

**Tabela 2. Resultados da avaliação dos alinhamentos  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  utilizando as medidas de precisão e cobertura padrão, e a medida-F correspondente.**

| Métrica         | $(A_1, R)$ | $(A_2, R)$ | $(A_3, R)$ |
|-----------------|------------|------------|------------|
| $P(A, R)$       | 0,40       | 0,50       | 0,40       |
| $C(A, R)$       | 0,33       | 0,50       | 0,33       |
| $M_{0.5}(A, R)$ | 0,37       | 0,50       | 0,37       |

Na Tabela 3, apresentamos os resultados da avaliação dos alinhamentos  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  utilizando as medidas de precisão e cobertura relaxadas, e a medida-F correspondente. O alinhamento  $A_2$  é apontado ainda como o melhor alinhamento. Porém é possível agora diferenciarmos o alinhamento  $A_1$  do  $A_3$ . A precisão e cobertura relaxada consegue apontar a diferença entre eles, indicando o  $A_3$  como melhor do que  $A_1$ .

**Tabela 3. Resultados da avaliação dos alinhamentos  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  utilizando as medidas de precisão e cobertura relaxadas, e a medida-F correspondente.**

| Métrica         | $(A_1, R)$ | $(A_2, R)$ | $(A_3, R)$ |
|-----------------|------------|------------|------------|
| $P_w(A, R)$     | 0,40       | 0,69       | 0,58       |
| $C_w(A, R)$     | 0,33       | 0,69       | 0,48       |
| $M_{0.5}(A, R)$ | 0,37       | 0,69       | 0,53       |

Na Tabela 4, apresentamos os resultados da avaliação dos alinhamentos  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  utilizando as medidas de precisão e cobertura baseadas em consultas, e a medida-F correspondente utilizando o Algoritmo 1. Embora os valores da precisão e cobertura

<sup>3</sup>As ontologias populadas e todas as consultas utilizadas estão disponíveis neste endereço: <http://www.ime.usp.br/bispojr/artigos/enia2011.tar.gz>

sejam diferentes dos apresentados na Tabela 3, é possível diferenciar os alinhamentos de forma a concluir que  $A_1 < A_3 < A_2$  em termos de qualidade.

**Tabela 4. Resultados da avaliação dos alinhamentos  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  utilizando as medidas de precisão e cobertura baseadas em consultas, e a medida-F correspondente.**

| Métrica           | $(A_1, C_R)$ | $(A_2, C_R)$ | $(A_3, C_R)$ |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| $P_C(A, C_R)$     | 0,78         | 0,60         | 0,83         |
| $C_C(A, C_R)$     | 0,39         | 0,80         | 0,50         |
| $M_{0.5}(A, C_R)$ | 0,52         | 0,69         | 0,62         |

Vale salientar que as consultas de referências criadas para obter os resultados da Tabela 4 foram escritas a partir do alinhamento de referência  $R$ , para podermos comparar as métricas a partir dos resultados aqui apresentados.

## 6. Conclusões

Inicialmente a avaliação de alinhamentos de ontologias era realizada utilizando as medidas de precisão e cobertura padrão. Porém, ultimamente, têm sido propostas as medidas de precisão e cobertura relaxadas com o intuito de discriminar de uma forma mais acurada os alinhamentos entre si. Esta diferenciação é importante para estimar o esforço do usuário para refinar o alinhamento após o processo.

Apresentamos uma métrica baseada em consultas como uma abordagem alternativa para a avaliação de alinhamentos. Esta métrica conseguiu diferenciar os alinhamentos propostos no exemplo de motivação da mesma forma que as medidas de precisão e cobertura relaxadas. Dentre os vários benefícios desta métrica, podemos destacar o reuso das consultas que já são usualmente realizadas nas ontologias emparelhadas.

Uma dificuldade significativa da métrica baseada em consultas consiste no problema de tradução de dados que está diretamente relacionado à expressividade das lógicas utilizadas. Uma possibilidade de abordar o problema seria resolvê-lo em lógicas menos expressivas e gradualmente incrementando para linguagens mais complexas.

Seria importante em trabalhos futuros propor uma maneira mais eficiente de comparação de métricas de avaliação de alinhamentos de ontologias. As comparações realizadas na área de emparelhamento de ontologias (como a utilizada neste trabalho) até então são carentes de uma validação estatística mais séria.

## 7. Agradecimentos

Os autores são muito gratos ao apoio fornecido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para a realização deste trabalho (136210/2009-0).

## Referências

Correndo, G., Salvadores, M., Millard, I., Glaser, H., and Shadbolt, N. (2010). SPARQL query rewriting for implementing data integration over linked data. In *Proceedings of the 2010 EDBT/ICDT Workshops*, pages 4:1–4:11.

- Do, H.-H., Melnik, S., and Rahm, E. (2003). Comparison of schema matching evaluations. In *Web, Web-Services, and Database Systems*, Lecture Notes in Computer Science, pages 221–237. Springer Berlin / Heidelberg.
- Ehrig, M. and Euzenat, J. (2005). Relaxed precision and recall for ontology matching. In *Proceedings of the K-Cap Workshop on Integrating Ontologies*, pages 25–32, Banff, CA.
- Euzenat, J. (2001). Towards a principled approach to semantic interoperability. In *Proceedings of the IJCAI Workshop on Ontologies and Information Sharing*, pages 19–25.
- Euzenat, J., Ferrara, A., Meilicke, C., Nikolov, A., Pane, J., Scharffe, F., Shvaiko, P., Stuckenschmidt, H., Sváb-Zamazal, O., Svátek, V., and Trojahn, C. (2010). Results of the ontology alignment evaluation initiative 2010. In *Proceedings of the ISWC 2010 Workshop on Ontology Matching*, pages 85–117.
- Euzenat, J., Polleres, A., and Scharffe, F. (2008). Processing ontology alignments with SPARQL. In *Proceedings of the International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, pages 913–917.
- Gal, A. and Shvaiko, P. (2009). Advances in ontology matching. In *Advances in Web Semantics I*, volume 4891 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 176–198. Springer Berlin, Heidelberg.
- Kalfoglou, Y. and Schorlemmer, M. (2003). Ontology mapping: The state of the art. *The Knowledge Engineering Review*, 18(1):1–31.
- Noy, N. and Klein, M. (2004). Ontology evolution: Not the same as schema evolution. In *Knowledge and Information Systems*, volume 6, pages 428–440. Springer Berlin, Heidelberg.
- Noy, N. F. and McGuinness, D. L. (2001). Ontology development 101: A guide to creating your first ontology. Technical Report Technical Report SMI-2001-0880, Stanford Medical Informatics.
- Noy, N. F. and Musen, M. A. (2000). Prompt: Algorithm and tool for automated ontology merging and alignment. In *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*.
- Noy, N. F. and Musen, M. A. (2001). Anchor-prompt: Using non-local context for semantic matching. In *Proceedings of IJCAI Workshop on Ontologies and Information Sharing*, pages 63–70.
- van Rijsbergen, C. J. (1975). *Information retrieval*. Butterworths, London, UK. Acesso em 26 de agosto de 2010. Disponvel em <http://www.dcs.gla.ac.uk/Keith/Preface.html>.
- Wang, P. and Xu, B. (2009). Lily: Ontology alignment results for OAEI 2009. In *Proceedings of the ISWC 2009 Workshop on Ontology Matching*, pages 186–192.
- Wang, Z., Zhang, X., Hou, L., Zhao, Y., Li, J., Qi, Y., and Tang, J. (2010). RiMOM results for OAEI 2010. In *Proceedings of the ISWC 2010 Workshop on Ontology Matching*, pages 194–201.