

Aprimorando a visualização e composição de regras SWRL na Web

Adriano Rívolti

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Universidade de São Paulo – USP
Av. Trabalhador Sancarlense, 400 – São Carlos – SP
+55 (16) 3373-9700

rivolti@gmail.com

Dilvan A. Moreira

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Universidade de São Paulo – USP
Av. Trabalhador Sancarlense, 400 – São Carlos – SP
+55 (16) 3373-9700

dilvan@gmail.com

ABSTRACT

Semantic Web Rule Language (SWRL) is a rule language that enables rules to be combined with Web Ontology Language (OWL) to provide even more expressivity to them. However, as rule based web systems mature, the developers face problems when trying to control them. A large rule set becomes difficult to understand and prone to errors. To resolve this problem, techniques and tools are needed to organize, view and create rules set in SWRL. This paper presents a set of solutions to improve the use and management of SWRL rules, which include the development of visual representations and some techniques that resulted in a visualization and composition rule tools. As a case study we used a rule set on biomedical autism (Autism Phenologue Rules) which illustrates a large and complex SWRL rule set. From this study, a new visual representation specific to these rules was developed, allowing a medical expert, without much computer knowledge, can more easily manage the rules.

Categories and Subject Descriptors

H.3.4 [Information storage and retrieval]: Systems and Software – *Semantic Web*.

General Terms

Algorithms, Management.

Keywords

Regras SWRL; Sistema de regras; Composição de regras; Visualização de regras; Anotação de dados; Web Semântica.

Informações

Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências de Computação e Matemática Computacional no ICMC/USP, desde Março de 2009 com previsão de conclusão em Novembro de 2011

INTRODUÇÃO

A Web Semântica busca fazer com que os conteúdos disponibilizados na Web tenham significado não apenas para as pessoas, mas também que possam ser processados por máquinas [1]. Para tanto, utiliza ontologias na representação do conhecimento e possibilita a geração de dados anotados semanticamente. Entre as distintas formas da anotação semântica, a *Semantic Web Rule Language (SWRL)* possibilita criar

anotações no formato de regras, utilizando os conceitos definidos na *Web Ontology Language (OWL)*, representando, organizando e compartilhando o conhecimento de um domínio específico por meio de afirmações condicionais [2].

Todavia, à medida que os conjuntos de regras crescem, os desenvolvedores podem enfrentar dificuldades para gerenciá-los adequadamente. Um sistema com um grande número de regras torna-se difícil de entender e propício a erros, principalmente quando é mantido por mais de uma pessoa ou possui regras complexas [3]. Assim, os desenvolvedores precisam de ferramentas para criar, visualizar e gerenciar regras, que possibilitem principalmente: 1) Aquisição do conhecimento sem inconsistências, ambiguidade e regras duplicadas; 2) Visualização de regras e conjunto de regras de forma a facilitar o entendimento e conhecimento das mesmas.

Tais requisitos motivaram a investigação e desenvolvimento de representações visuais para abstrair os detalhes da sintaxe da linguagem SWRL e técnicas para acrescentar ou melhorar os recursos disponíveis para gerenciamento de regras. O desenvolvimento deste conjunto de solução foi conduzido juntamente com um estudo de caso, que possibilitou a identificação de novos requisitos, assim como, na avaliação das soluções propostas.

1. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo apresentar soluções que aprimoram o processo de criação e visualização de regras SWRL. Em especial, permite que os especialistas do domínio biomédico que utilizam o conjunto de regras *Autism Phenologue Rules* [4], com o mínimo de conhecimento técnico adicional, sejam capazes de entender e criar novas regras. Estas soluções compreendem de um modo geral:

- **Representações visuais** que por um lado, abstrai os detalhes da sintaxe da linguagem SWRL, permitindo que as regras possam ser mais facilmente entendidas e criadas; e por outro lado, permite que usuários mais técnicos utilizem as regras sem restrições;
- **Técnicas e recursos** que melhorem a interação dos usuários ao utilizar uma ferramenta de edição e visualização de regras. São elas: técnica para identificação de similaridade entre regras, agrupamento de regras, sugestão de termos, identificação de erros e um mecanismo de busca para regras SWRL;

2. METODOLOGIA

Para a concretização dos objetivos foram realizados os seguintes passos:

WebMedia'11: Proceedings of the 17th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web. XI Workshop on Ongoing Thesis and Dissertations.

October 3 -6, 2011, Florianópolis, SC, Brazil.

ISSN 2175-9650.

SBC - Brazilian Computer Society

- Investigação de estudos relacionados a ontologias, anotações, regras e suas interfaces, buscando abstrações adequadas para o uso em aplicações de regras SWRL;
- Desenvolvimento de uma ferramenta baseada na Web para a produção, manutenção e gerenciamento de regras SWRL, aplicando e validando as soluções desenvolvidas;
- Estudo de caso usando as regras e os especialistas no domínio do autismo, que permitiram gerar uma nova representação visual aprimorando o uso da ferramenta para este domínio;

3. CONTEXTO TEÓRICO

A Web Semântica, uma extensão da Web atual, é uma representação capaz de associar significados explícitos aos conteúdos dos documentos disponíveis na Internet, sendo que sua principal meta é possibilitar que programas processem e interpretem automaticamente esses documentos [1]. Para Berners-Lee, a Web Semântica deve possibilitar que computadores sejam capazes de acessar dados estruturados e de definir regras de inferências, transformando grandes volumes de dados em informação. A tarefa de associar significados aos dados é possível pelo uso de ontologias.

O termo ontologia é emprestado da filosofia e empregado na ciência da informação e em inteligência artificial. Ontologia pode ser definida como uma especificação explícita da conceituação de um domínio, visando uma classificação padronizada e formal por meio de um vocabulário controlado que representa semanticamente e exatamente os termos de um domínio específico e seus relacionamentos [5].

A linguagem de ontologia OWL é destinada para os que desejam grande expressividade na descrição dos objetos e seus relacionamentos. Em 2004, passou a ser o padrão recomendado pelo W3C, para representar e compartilhar ontologias na Web [6].

Além disso, é possível aumentar a expressividade de OWL com o uso de regras SWRL e assim realizar anotações semânticas como asserções, uma vez que, com o seu uso cria-se afirmações condicionais que permitem a inferência de novos conhecimentos sobre os indivíduos. SWRL é uma expressiva linguagem de regras que combina cláusulas *Horn* com conceitos definidos em OWL e pode ser usada para aumentar a capacidade de inferência sobre os indivíduos em uma base de conhecimento em OWL [2].

Regras em SWRL são compostas de duas partes: o antecedente (*body*) e o conseqüente (*head*). Cada regra é uma implicação entre o antecedente e o conseqüente, que pode ser entendida como: quando as condições do antecedente são verdadeiras, então as condições do conseqüente também são verdadeiras. Ambas as partes consistem em uma conjunção de zero ou mais átomos, não permitindo disjunções ou negação.

Os átomos, por sua vez, são formados por um predicado e um ou mais argumentos (cuja quantidade e tipo são determinados pelo tipo do predicado e conseqüentemente pelo tipo do átomo). A especificação W3C define seis tipos de átomos [8], apresentados na Tabela 1.

Desta forma, átomos podem se referir a: 1) indivíduos; 2) valores; 3) variáveis para indivíduos; e, 4) variáveis para valores. Variáveis são tratadas como quantificadores universais e possuem o escopo limitado à regra a qual pertence. Apenas variáveis que ocorrem no antecedente podem ocorrer no conseqüente.

Embora as regras SWRL possam ser representadas em mais de um formato, o formato de leitura humano é adotado neste trabalho. Neste formato, a seta (\rightarrow) é usada para separar antecedente e conseqüente, o acento circunflexo (\wedge) representa a conjunção entre os átomos e o sinal de interrogação (?) distingue as variáveis dos nomes de indivíduos. Usando esta sintaxe e os conceitos apresentados anteriormente, uma regra que define que o irmão do pai de um indivíduo é o seu tio é ilustrada na Figura 1.

Tabela 1. Tipos de átomos SWRL

Tipo de átomo	Descrição
<i>Class</i>	O predicado corresponde a uma classe definida na ontologia e recebe um indivíduo ¹ como argumento.
<i>Object property</i>	O predicado corresponde a uma propriedade definida na ontologia e recebe dois indivíduos como argumentos e os relaciona entre si.
<i>Data valued property</i>	O predicado corresponde a uma propriedade definida na ontologia e recebe dois argumentos: um indivíduo e um valor ² relacionando-os.
<i>Data range</i>	O predicado corresponde a um tipo de dado definido na ontologia e recebe um valor como argumento.
<i>Same/different</i>	O predicado corresponde ao termo “ <i>sameAs</i> ” ou “ <i>differentFrom</i> ” e recebe dois indivíduos como argumentos definindo que estes são iguais ou diferentes respectivamente.
<i>Built-in</i>	O predicado corresponde a um conjunto de funções pré-definidas (comparações, funções matemáticas, lógicas, ...) ou definida pelo usuário que recebe um ou mais argumentos e retorna verdadeiro quando estes satisfazem o predicado.



Figura 1 - Exemplo de regra SWRL e suas partes

4. TRABALHOS RELACIONADOS

4.1 SWRL Tab [7]

O SWRL Tab é um *plug-in* para o editor de ontologias Protégé, sua principal finalidade é permitir a edição e gerenciamento de regras SWRL.

¹ Na Tabela 1 o termo indivíduo é empregado para representar indivíduos ou variáveis para indivíduos

² O termo valor neste caso é uma livre tradução de *data value* e representa um dado de um tipo primitivo definido na ontologia (Ex: inteiro, real, *string*). Na Tabela 1 o termo valor é empregado para representar valores constantes ou variáveis para valores

As regras são apresentadas no formato tabular, sendo possível editá-las em um editor textual integrado. A ferramenta realiza a identificação dos erros sintáticos conforme a especificação SWRL [2], e valida o correto uso dos termos da ontologia.

Além disso, um conjunto de APIs é disponibilizado permitindo, por exemplo, a inferência das regras e realização de testes [7]. Por outro lado, a ferramenta não possui nenhum tipo de recurso relacionado à organização das regras.

4.2 Axiomé [3]

O Axiomé também é um *plug-in* para o Protégé e faz uso das APIs disponibilizadas pela ferramenta SWRL Tab. Sob a perspectiva do usuário o Axiomé amplia a quantidade de recursos voltados à organização e visualização das regras, além de disponibilizar a edição das regras por meio de *templates* gerados com base na estrutura das regras.

As principais técnicas que a ferramenta agrega são: Agrupamento automático das regras; Gráficos de visualização e dependências das regras; Paráfrases em regras (uma explicação textual da regra gerada dinamicamente); e *Template* para edição e aquisição de regras. Atualmente, a ferramenta está sendo migrada para a versão Web do Protégé e recursos semânticos estão sendo agregada a mesma [8].

4.3 Regras de Negócio

Existe um grande número de técnicas e ferramentas relacionadas à criação de regras de negócio, que podem apontar a direção para o aprimoramento e criação de novas técnicas relacionadas a regras SWRL [9]. Embora os avanços das ferramentas e os estudos relacionados a criação de regras de negócio, ainda não estejam consolidados [10], o estágio atual de seu desenvolvimento está muito a frente se comparado a regras semânticas.

A análise destas ferramentas mostra as distintas formas de interação do usuário com as regras, como por exemplo: tabelas e árvores de decisão, *templates* para edição de regras, linguagem natural, diagramas para visualização e editores integrados que utilizam técnicas de agrupamento, sugestão de termos, detecção e correção de erros.

5. CONTRIBUIÇÕES

Foi desenvolvido um conjunto de soluções para aprimorar o uso de regras SWRL. Tais soluções compreendem contribuições nas áreas de Web Semântica, Interação Humano-Computador e Bioinformática.

5.1 Representação Lógica das Regras

As regras SWRL são armazenadas no formato OWL como parte da própria ontologia em que são criadas. As regras e suas partes, são representadas internamente pela ferramenta Protégé como indivíduos que pertencem a uma ou mais classes e possuem propriedades que os relacionam entre si, como pode ser visto na especificação W3C [2], nas seções *XML Concrete Syntax* e *RDF Concrete Syntax*. Além disso, as ferramentas SWRL Tab e Axiomé são muito acopladas ao Protégé. Com isso, uma API para regras SWRL passou a ser desenvolvida para ser independente de uma ferramenta específica.

Nessa API, as regras são representadas de um modo mais próximo ao modelo lógico utilizado pelos desenvolvedores de regras. Na Figura 2 são apresentadas as principais classes e seus relacionamentos utilizados na representação das regras em SWRL.

A partir deste modelo foi desenvolvido um procedimento automático para extração de informações e características do conjunto de regras que oferece uma visão completa das mesmas. As principais características extraídas foram: quantidade; média; mínimo e máximo; distribuição e frequência referentes aos átomos, tipos de átomo, predicados, argumentos e tipos de argumentos. É possível analisar estas informações observando apenas o antecedente, o consequente, ou ambos.

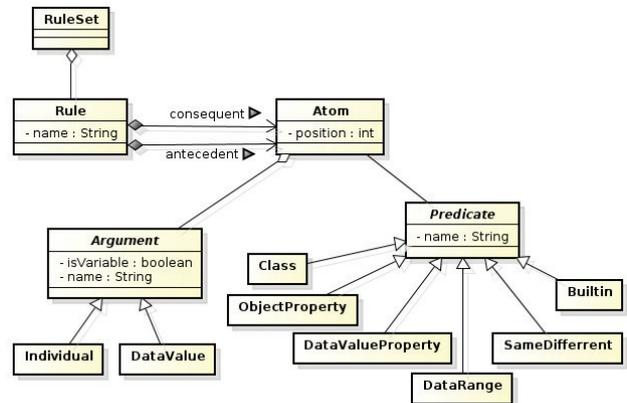


Figura 2 - Principais classes do modelo lógico desenvolvido

Além disso, a API possui um módulo de integração do modelo com as APIs do Protégé versões 3 (OWL versão 1) e 4 (OWL versão 2) para obtenção dos conceitos definidos na ontologia e suas regras. Isso permitiu o desenvolvimento de um *plug-in* para esta ferramenta.

5.2 Similaridade entre Regras

Mensurar um fator que determina o quanto duas regras são similares ou diferentes se mostrou uma opção capaz de auxiliar na visualização, organização e no processo de composição de regras. Além disso, a maneira como foi desenvolvido o algoritmo de similaridade permite identificar padrões nas regras.

O primeiro passo do algoritmo consiste na elaboração de uma matriz de características, com as linhas correspondendo às regras e as colunas correspondendo aos átomos. Para cada linha/coluna é atribuído o número de ocorrências do átomo na regra. Essa matriz de características permite algumas variações. Ao invés de utilizar a regra como um todo, pode ser utilizado apenas o antecedente ou consequente. Além disso, os argumentos podem ser descartados utilizando apenas os predicados. A partir da matriz de características obtida, é possível determinar a distância entre duas regras P e Q quaisquer pela expressão:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}$$

Onde: P = [p₁, p₂, ..., p_n] e Q = [q₁, q₂, ..., q_n] são os vetores de características das regras P e Q, respectivamente.

A fórmula da distância Euclidiana, utilizada para o cálculo da similaridade, fornece a distância entre dois pontos em um plano n-dimensional [11]. Com isso, quando duas regras possuem exatamente os mesmos átomos o resultado obtido pela aplicação da fórmula é zero, e as regras são consideradas idênticas. Desta forma, quanto maior a distância obtida, maior é a diferença entre as regras e consequentemente menor a similaridade entre elas.

5.3 Agrupamento de Regras

O agrupamento automático das regras SWRL a partir de sua estrutura [3], faz com que os grupos gerados contêm regras cujos significados não tenham ligação entre si, uma vez que o agrupamento é realizado pela quantidade e tipos de átomos que as regras possuem. Na busca de gerar grupos de regras significativos sob a perspectiva do usuário, o fator de similaridade foi considerado juntamente com a aplicação do método de clusterização K-means [12].

O K-means é o mais simples e mais utilizado algoritmo que aplica o critério de erro quadrático. Classificado como um algoritmo divisível faz com que os grupos sejam obtidos em partições simples, sem uma estrutura hierárquica por exemplo. Isso faz com que possa ser aplicado em pequenos e grandes conjuntos de dados, mas precisa que o número de grupos seja pré-definido, fato que pode se tornar um problema. O método não requer intervenção e supervisão humana (não supervisionado) e os dados iniciais não precisam ser pré-classificados.

O algoritmo utilizado para o agrupamento das regras a partir da similaridade pode ser descrito em cinco passos:

1. Selecionar k regras aleatórias, que serão utilizadas como centro dos grupos;
2. Calcular a similaridade entre cada regra e os centroides;
3. Agrupar cada regra com o centroide mais similar;
4. Calcular os novos centroides para os k grupos;
5. Voltar ao passo 2 até que haja convergência, ou seja, nenhum grupo sofra alterações e os centroides sejam mantidos;

5.4 Detecção de Erros

Ferramentas capazes de identificar e corrigir erros são um dos mais importantes requisitos apontados pelos desenvolvedores de regras [10]. Desta maneira, integrar estes recursos na API se mostrou essencial para aprimorar o processo de composição de regras e diminuir o número de erros.

A partir da especificação SWRL, foi definida uma lista com os possíveis erros que os desenvolvedores de regras podem cometer durante o processo de composição de regras. Além disso, é proposta uma classificação de escopo e tipo para os erros. A classificação de escopo compreende: (1) Regra; (2) Átomo; (3) Argumento. A classificação de tipo compreende: (1) Aviso³; (2) Erro léxico; (3) Erro sintático; (4) Erro semântico.

A listagem conta ainda com as informações de descrição para correção e mensagem formatada para o usuário. A detecção de erros semânticos não foi alvo desse trabalho.

5.5 Sugestão de Termos

A sugestão de termos é um recurso desenvolvido para auxiliar o processo de composição de regras, mas precisamente o de criação de novas regras. Na medida em que a regra vai sendo criada, novos termos são sugeridos considerando a frequência com que os predicados se relacionam em outras regras. Desta forma, o algoritmo desenvolvido busca identificar a frequência com que os predicados se relacionam entre si e utiliza tais valores como parâmetros para sugestão de termos. O ponto negativo desta

abordagem é que não é possível realizar sugestões para as primeiras regras ou para aquelas que não possuem nenhum predicado em comum com as demais regras do conjunto.

Para determinar o número de vezes que cada predicado se relaciona com os demais em um conjunto de regras, cada predicado é mapeado em um vértice de um grafo, cujas arestas indicam o número de regras que os predicados aparecem em conjunto. Na medida em que a regra vai sendo desenvolvida, as sugestões são realizadas a partir dos termos já informados e a ligação destes na estrutura desenvolvida.

5.6 Ferramenta

Para integrar e validar os recursos desenvolvidos foi desenvolvido um *plug-in* para a versão Web do editor de ontologias Protégé. O Protégé é uma ferramenta gratuita, extensível e de código aberto, desenvolvida pelo centro de informática biomédica da Stanford University [13].

Além disso, representações visuais foram desenvolvidas para aprimorar a visualização e compreensão das regras SWRL. Na Figura 3 são apresentadas duas abstrações. Enquanto a representação visual *SWRL highlight* exibe a regra agregando cores aos átomos e argumentos de acordo com seu tipo a Visualização Hierárquica abstrai a sintaxe da regra apresentando-a de modo hierárquico conforme o significado e tipo dos átomos. Ambas as representações, ao mesmo tempo em que tornam a regra mais clara para apresentação, enriquecem com cores e símbolos o seu significado. Além disso, um mecanismo de busca avançada foi desenvolvido permitindo localizar e identificar uma regra específica em grandes conjuntos de regra.

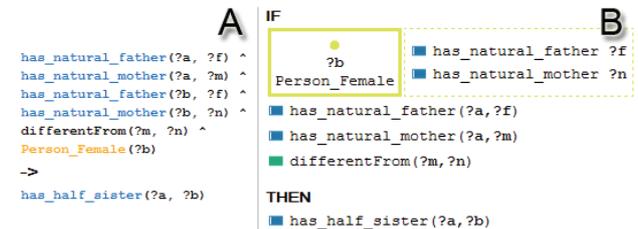


Figura 3 – Representações visuais para regras SWRL. A) *SWRL Highlight*; B) *Visualização Hierárquica*.

Com relação à composição, um editor de regras foi desenvolvido, integrando os mecanismos de detecção de erros e sugestão de termos. Na Figura 5 é apresentada um dos editores desenvolvidos e integrados na ferramenta.

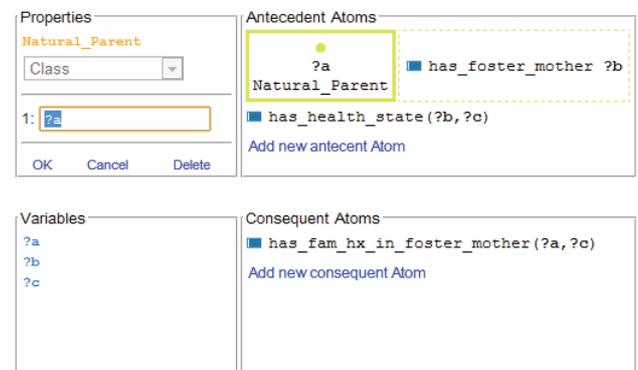


Figura 4 – Editor SWRL hierárquico

³ Os avisos (*warnings*) não são efetivamente erros, mas foram incluídos na lista pelo fato de sua ocorrência possivelmente não ser desejada ou esperada.

6. AVALIAÇÃO

A avaliação do trabalho desenvolvido ocorreu por meio do desenvolvimento de uma ferramenta para a validação das técnicas propostas e um estudo de caso, aplicado ao autismo, que permitiu por meio da interação com o usuário gerar uma nova representação visual, tornando o entendimento das regras mais fácil para usuários finais.

6.1 O Autismo como Estudo de Caso

Foram utilizadas na condução do estudo de caso as regras disponíveis na ontologia *Autism Phenologue Rules* [14] que representa um grande e complexo conjunto de regras, está inserido no domínio biomédico e é mantida por um grupo de pesquisadores especialistas em autismo e informática. Esta ontologia de autismo estende algumas ontologias disponíveis na *Open Biomedical Ontologies (OBO) Foundry* e utiliza regras SWRL como processo de anotação para categorizar fenótipos de autismo. O *Autism Spectrum Disorder (ASD)* é definido como uma série de transtornos complexos no desenvolvimento mental, caracterizados por deficiências sociais, dificuldades de comunicação e padrões restritos, repetitivos e estereotipados de comportamento [15].

O desenvolvimento da ontologia *Autism Phenologue Rules* e das regras fazem parte do projeto *Phenologue* que busca colaborativamente adquirir, gerenciar, e inferir novas informações a cerca de fenótipos de doenças a partir de dados experimentais e resultados publicados na literatura. A ontologia possui 156 regras, que correspondem a um total de 2137 átomos. Estes átomos utilizam 155 predicados distintos, sendo que, apenas 9 predicados são utilizados no consequente. O número médio de átomos por regra é 13, a menor regra do conjunto possui 10 átomos e a maior possui 20 átomos.

O uso da ontologia do autismo permitiu verificar e avaliar as técnicas e soluções desenvolvidas e quais destas se mostraram mais eficaz e útil para os usuários finais. Além disso, a ferramenta desenvolvida passará a ser utilizada por estes pesquisadores no gerenciamento das suas anotações. Na Figura 5 é apresentada uma das telas de visualização das regras, disponíveis na ferramenta.

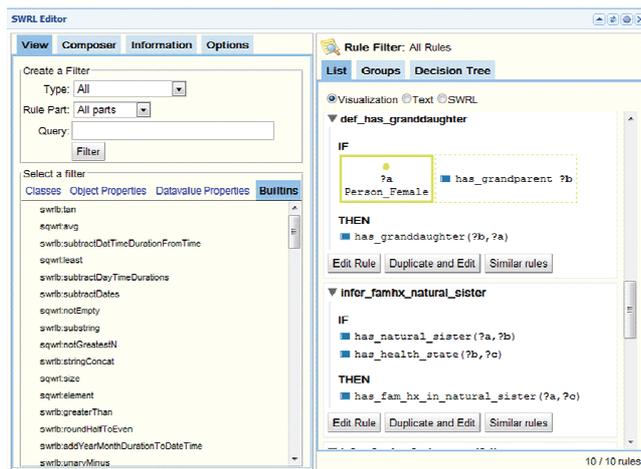


Figura 5 - Visualização de regras SWRL

7. ESTÁGIO ATUAL DO TRABALHO

O trabalho encontra-se em fase final de avaliação, no qual, os esforços atuais estão destinados na avaliação da representação

visual desenvolvida especialmente para a regra do autismo. Esta representação abstrai todos os detalhes técnicos da regra, de modo, que os médicos e pesquisadores especialistas em autismo, possam criar e visualizá-las mais facilmente, uma vez que, não precisam se preocupar com o formalismo da linguagem SWRL.

Como trabalhos futuros, são sugeridas melhorias nas técnicas propostas, agregando a estas, recursos semânticos.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Berners-Lee, T., Hendler, J. and Lassila, O. 2001. The Semantic Web. *Scientific American*, 34–43.
- [2] W3C. 2004. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>.
- [3] Hassanpour, S., O'Connor, M. J. and Das, A. K. 2009. Exploration of SWRL Rule Bases through Visualization, Paraphrasing, and Categorization of Rules, *RuleML 2009*, 246–261, DOI=10.1007/978-3-642-04985-9_23.
- [4] Tu, S., Tennakoon, L., O'Connor, M. J., Shankar, R. and Das, A. K. 2008. Using an integrated ontology and information model for querying and reasoning about phenotypes: the case of autism. In *Proceedings of the American Medical Informatics Association*, 727–731.
- [5] Gruber, T. R. 1993. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowl. Acquis.* 5(2), 199-220. DOI= <http://dx.doi.org/10.1006/knac.1993.1008>.
- [6] Smith, M. K., Welty, C. e McGuinness, D. L. (Editors). 2004. OWL Web Ontology Language Guide. W3C. <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>
- [7] SWRLTab. 2011. SWRL Tab. <http://protege.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?SWRLTab>
- [8] Hassanpour, S., O'Connor, M. J. and Das, A. K. 2010. Visualizing Logical Dependencies in SWRL Rule Bases. The International RuleML Symposium on Rule Interchange and Application.
- [9] Rivolli, A., Orlando, J. P. and Moreira, D. A. 2011. An Analysis of Rules-Based Systems to Improve SWRL Tools. *ICEIS 2011, Beijing, China*, 191-194.
- [10] Zacharias, V. 2008. Development and verification of rule based systems – a survey of developers. In *Rule Representation, Interchange and Reasoning on the Web: International Symposium*, 6-16, DOI=10.1007/978-3-540-88808-6_4.
- [11] Salzberg, S. 1991. Distance Metrics for Instance-Based Learning, In *Proc. of ISMIS'91 6th International Symposium, Methodologies for Intelligent Systems*, 399-408.
- [12] Jain, A. K., Murty, M. N., Flynn, P. J., 1999. Data clustering: A review. In *ACM Computer Survey* 31, 3, pp. 264-323, doi: 10.1145/331499.331.
- [13] Tudorache, T., Vendetti, J. e Noy, N. F. 2008. Web-Protégé: A Lightweight OWL Ontology Editor for the Web. (*OWLED 2008*), Karlsruhe, Germany.
- [14] Tu, S., Tennakoon, L., O'Connor, M. J., Shankar, R. and Das, A. K. 2008. Using an integrated ontology and information model for querying and reasoning about phenotypes: the case of autism. In *Proc. of the American Medical Informatics Association*, 727–731.
- [15] Frith, U. e Hill, E. L. 2003. *Autism: Mind and Brain*. Oxford University Press.