

Sistema Especialista Baseado em Ontologias Aplicado à Fisioterapia Neuropediátrica

Luciana Vieira Castilho Weinert¹, Heitor S. Lopes², Wagner Rodrigo Weinert³

¹Setor Litoral - Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Rua Jaguariaíva, 512 – 83.260-000 – Matinhos – PR - Brasil

²Laboratório de Bioinformática - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

³Câmpus Paranaguá - Instituto Federal do Paraná (IFPR)

luciana.weinert@ufpr.br, hslopes@pesquisador.cnpq.br, wagner.weinert@ifpr.edu.br

Abstract. *This paper presents a methodology for modeling and building an ontology for the domain of Neuropediatric Physiotherapy. This is an important area that includes diagnosis, treatment and evaluation of patients with neurological injuries. The domain knowledge is, by nature, complex, ambiguous and non-standardized. We present formal methods for knowledge acquisition and representation, and building an ontology for the domain. The completeness and consistency of formal model was verified. The resulting knowledge-base yielded production rules employed in an expert system that can be used by physiotherapists as a decision support aid in diagnosis. The main contribution of the work is a domain ontology based on consensus vocabulary for an important area of health sciences.*

Resumo. *Este artigo descreve a metodologia de modelagem e construção de uma ontologia para o domínio da Fisioterapia Neuropediátrica. Esta é uma área importante que envolve o diagnóstico, o tratamento e a avaliação de pacientes portadores de lesões neurológicas. O domínio do conhecimento é por natureza, complexo, ambíguo e não-padronizado. Apresenta-se os métodos formais utilizados para aquisição e representação do conhecimento e para a construção da ontologia do domínio. A completude e a consistência do modelo foram verificadas. A base de conhecimento resultante gerou regras de produção empregadas em um sistema especialista que pode ser utilizado por fisioterapeutas como apoio ao processo de decisão e diagnóstico. A principal contribuição do trabalho é o desenvolvimento de uma ontologia de domínio baseada em um vocabulário de consenso para uma importante área das ciências da saúde.*

1. Introdução

Na Fisioterapia, assim como na medicina existem diferentes áreas de atuação profissional. Uma destas é a Fisioterapia Neuropediátrica, uma área de ampla abrangência que envolve desde o diagnóstico, até os procedimentos de intervenção e de reavaliação de pacientes que possuem distúrbios da postura e do movimento ocasionados em consequência de uma lesão no sistema nervoso central [Bly 1994].

Várias publicações em livros e periódicos especializados embasam o processo de diagnóstico e tratamento em Fisioterapia Neuropediátrica. Entretanto nem todos os fisioterapeutas e demais profissionais de saúde compreendem o conhecimento relativo a este domínio.

Com o desenvolvimento da tecnologia da informação e a disseminação do uso da internet, grandes quantidades de bases de dados são criadas e utilizadas por grupos isolados de profissionais [Zhou et al. 2004]. Como este domínio tem características predominantemente subjetivas e fraca sistematização dos conceitos envolvidos, o seu principal obstáculo é a grande quantidade de informação ambígua que impede a criação de um vocabulário consensual, e conseqüentemente o compartilhamento e o reuso de informações.

Assim, acredita-se que a modelagem e o desenvolvimento de uma estrutura formal que represente o conhecimento envolvido no domínio da Fisioterapia Neuropediátrica tenha relevância para a Fisioterapia e para outras áreas da saúde onde as informações estejam embasadas em dados subjetivos e não padronizados.

Os objetivos deste trabalho são: (1) Aplicar procedimentos formais para a modelagem do conhecimento do domínio de Fisioterapia Neuropediátrica; (2) Desenvolver uma ontologia reutilizável e extensível que represente o conhecimento sobre o domínio; (3) Criar uma base de conhecimento que possibilite a realização de inferências sobre diagnósticos de pacientes reais; (4) Desenvolver um sistema especialista para apoio à decisão, baseado em regras extraídas da base de conhecimento.

O artigo está dividido em 5 sessões. A sessão 2 descreve a complexidade e a importância do conhecimento do domínio da Fisioterapia Neuropediátrica. A sessão 3 apresenta conceitos sobre aquisição e representação do conhecimento, e ontologias. A sessão 4 discute a metodologia de aquisição do conhecimento e de integração para o desenvolvimento da ontologia e do sistema especialista. A sessão 5 apresenta os resultados principais do desenvolvimento desta ontologia, e a sessão 6, as conclusões e os trabalhos futuros.

2. O Conhecimento em Fisioterapia Neuropediátrica

A Fisioterapia Neuropediátrica é uma ciência que engloba diagnóstico, tratamento e reavaliações constantes para constatação da melhora do paciente [Bly 1994] [Levitt 1995]. Quando ocorre uma lesão neurológica em uma criança o fisioterapeuta analisa a sua motricidade e a sua funcionalidade através do seu desenvolvimento motor normal. Por exemplo, em uma criança normal com 8 meses de *idade cronológica* esta análise remete a aproximadamente 8 meses de *idade motora*. Enquanto em uma criança com lesão neurológica pode-se ter uma *idade cronológica* de 8 meses, mas uma *idade motora* de 2 meses, e esta defasagem é considerada como atraso motor ou condição anormal. Partindo-se deste pressuposto, cabe ao fisioterapeuta analisar todos os complexos componentes do desenvolvimento normal que devem ser estimulados durante o tratamento da criança para que ela consiga atingir uma idade motora igual a cronológica.

Para realizar o tratamento de crianças com lesões neurológicas precisa-se conhecer o desenvolvimento motor normal (com todas as suas peculiaridades) para

reconhecer o anormal. Assim, as etapas do desenvolvimento servem como guia no processo de diagnóstico e tratamento [Torre 2001].

Compreendendo a complexidade, a diversidade e a não-padronização do conhecimento em Fisioterapia Neuropediátrica, e a importância de se realizar diagnósticos corretos para efetuar tratamentos adequados, pode-se considerar de grande importância o desenvolvimento de uma ontologia com conceitos e relacionamentos entre conceitos, especificados formalmente. A modelagem, a construção e a utilização desta ontologia serão apresentadas nas próximas sessões.

3. A Aquisição e a Representação do Conhecimento e as Ontologias

O processo de aquisição ou elicitación de conhecimento pode ser definido como a extração, a representação e a transferência de informação de uma fonte de conhecimento, normalmente um especialista humano, para um programa de computador. A meta da aquisição do conhecimento é obter o conhecimento detalhado utilizado pelo especialista no domínio para solucionar problemas. Dentre as várias técnicas para se obter conhecimento, destacam-se a análise de textos e do comportamento, e, entrevistas, que podem ser direcionadas, estruturadas ou semi-estruturadas [Russel e Norvig 2003].

A representação do conhecimento é o método usado para modelar formalmente o conhecimento de especialistas em alguma área e deixá-lo pronto para ser utilizado por um sistema computacional. Diversas estruturas são utilizadas na organização e formalização do conhecimento. Recentemente, uma abordagem que tem recebido bastante atenção é a utilização de ontologias, que são descrições formais de um domínio do conhecimento a partir de conceitos e de seus relacionamentos [Gómez-Pérez 1999]. Ontologias também são eficientes para a criação de um vocabulário comum numa área e para o compartilhamento de conhecimento com uma semântica precisa.

De acordo com Gruber (1993) uma ontologia pode ser definida como uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada. Para Fensel (2001) nesta definição é importante que se compreenda o significado de algumas das palavras utilizadas: a palavra “conceitualização” refere-se a um modelo abstrato de algum fenômeno; a palavra “explícita” significa que conceitos e seus limites devem ser definidos claramente; a palavra “formal” denota que a ontologia deve poder ser processada por uma máquina; e “compartilhada” reflete a captura de conhecimento consensual de especialistas. Guarino (1998) argumenta que uma ontologia é uma teoria lógica que considera o significado pretendido de um vocabulário formal.

A estrutura de uma ontologia é formada por: um conjunto de conceitos ou classes, uma hierarquia ou taxonomia entre estes, um conjunto de relacionamentos e um conjunto de funções ou propriedades e um conjunto de axiomas [Gómez-Pérez 1999]. Ontologias são essenciais para o desenvolvimento e a utilização de sistemas baseados em conhecimento. Todo modelo baseado em conhecimento deve ter um comprometimento ontológico por considerar a semântica da conceitualização pretendida [Noy e Hafner 1997]. As ontologias formam a base dos maiores projetos em representação do conhecimento, como CYC [Lenat 1995], TOVE [Uschold e Grüninger 1996], KACTUS [Schreiber, Wielinga e Jansweijer 1995] e SENSUS [Swartout et al. 1997]. Nas áreas da saúde há várias pesquisas envolvendo ontologias e construção de

bases de conhecimento, como SNOMED-CT [Spackman, Campbell e Cote 1997] e Canon Group [Evans et al. 1994].

4. Metodologia

O desenvolvimento de ontologias é uma atividade de modelagem que necessita de um engenheiro de ontologias (também chamado de ontologista) que tenha conhecimento suficiente do domínio em questão e familiaridade com as linguagens de representação do conhecimento [Zhou et al. 2004].

A construção de uma ontologia é uma atividade de trabalho intensa e que se torna mais difícil devido a não padronização de vocabulário no domínio da Fisioterapia Neuropediátrica. Em sua versão preliminar, a ontologia de Fisioterapia Neuropediátrica possui aproximadamente 100 classes, 30 propriedades e 200 axiomas. Na sequência discute-se a metodologia de desenvolvimento, com os processos de aquisição e representação do conhecimento, e a verificação da consistência e da lógica do modelo desenvolvido.

Uschold (1996) enfatiza que não há uma metodologia unificada que preencha os requisitos para a modelagem de qualquer domínio. Zhou et al. (2004) aponta que há duas tarefas principais envolvidas neste processo: a primeira é a aquisição do conhecimento e o gerenciamento da conceitualização entre diferentes fontes de informação (gerenciamento de conflitos de opiniões), e a segunda é a formulação e a implementação do esquema da ontologia (representação do conhecimento). Estas são as fases que se percorreu para o desenvolvimento da ontologia de domínio para a Fisioterapia Neuropediátrica.

Para garantir a qualidade da ontologia seguiu-se os seguintes princípios:

1. Refinamento progressivo: iniciou-se com a construção de protótipos menores que viabilizaram a expansão da terminologia;
2. Avaliação da consistência: evita a ambigüidade e a não padronização que são características importantes do conhecimento do domínio em questão;
3. Vocabulário consensual: houve a preocupação em realizar o processo de aquisição do conhecimento em literatura especializada e com especialistas.

4.1. Aquisição do Conhecimento

A Inteligência Artificial clássica sugere que o engenheiro do conhecimento deve utilizar uma única fonte (especialista) [Russel e Norvig 2003]. Entretanto, neste trabalho utiliza-se uma ontologia para a representação do conhecimento. Os principais autores da área recomendam que as ontologias devem ser embasadas no consenso de um grupo de especialistas [Gruber 1993] [Guarino 1998]. Portanto, para tratar esta contradição decidiu-se por utilizar como fonte três fisioterapeutas especialistas em Fisioterapia Neuropediátrica, com experiência docente (teórica) e terapêutica (prática), reconhecidos como autoridade no conhecimento sobre este domínio.

Os especialistas participaram de várias entrevistas individuais. As técnicas de entrevista utilizadas foram a semi-estruturada, previamente planejada antes de cada seção, seguida da estruturada. Para a realização das entrevistas adaptou-se as cinco

fases do esquema de questionamento proposto por LaFrance (1987), para que o mesmo atendesse às necessidades do domínio em questão. Na primeira fase, chamada de Questionamento Amplo, aplicou-se aos especialistas uma entrevista semi-estruturada com o objetivo de entender o raciocínio empregado no momento de diagnóstico e intervenção em Fisioterapia Neuropediátrica. Na segunda fase, denominada Catalogação das Categorias, determinou-se as principais classes (conceitos) e suas subclasses. A terceira fase, Detalhamento dos Atributos, ocorreu com a utilização de entrevistas estruturadas que analisaram a frequência de utilização de cada conceito em diferentes tipos de diagnóstico. Na quarta fase, Determinação das Ponderações, obteve-se classes relacionadas aos valores ou peso de cada subclasse para os diagnósticos. Na quinta e última fase houve a Verificação Cruzada, quando os especialistas revisaram todas as informações fornecidas para a criação da ontologia.

Outra parte bastante importante do processo de aquisição do conhecimento é o processo de gerenciamento de conflitos e divergências oriundos das opiniões dos especialistas. O tratamento destas divergências ocorreu através da metodologia IBIS (*Issue-Based Information System*) (Rittel e Webber, 1973). Esta metodologia propõe que, ao se deparar com uma questão que possui respostas discrepantes obtidas de diferentes especialistas, sempre se opte pela resposta que possui a melhor argumentação, ou seja, aquela que recebeu uma aprovação, endosso ou justificativa. No caso de as duas possibilidades de resposta possuir justificativas, deve-se escolher aquela que possuir o maior número de argumentações.

Após a finalização do processo de aquisição do conhecimento com especialistas também validou-se este processo confirmando as informações levantadas nos principais livros da área de Fisioterapia Neuropediátrica [Bly 1994] [Levitt 1995] [Flehmg 1997].

Através da aquisição do conhecimento foram definidas as cinco grandes classes de informações relevantes para o diagnóstico e tratamento de um paciente em Fisioterapia Neuropediátrica: Reflexos, Reações, Planos de movimento, Padrões de Movimento e Habilidades Motoras. Também foram determinados as subclasses que compõem cada classe mencionada e os relacionamentos entre todas as classes da ontologia.

4.2. Representação do Conhecimento na Ontologia

O conhecimento adquirido foi representado na estrutura hierárquica de uma ontologia. Primeiro, uma taxonomia de termos foi criada com os principais conceitos (classes): *IdadeMotora* (corresponde ao diagnóstico), *DesenvolvimentoMotorNormal* (DMN – conjunto de características pertencentes a um determinado diagnóstico) e *Pacientes* (representando casos específicos). Esta hierarquia foi refinada com a criação de subclasses de conceitos derivados: *IdadeMotora* incluiu os 12 primeiros meses de vida; *DesenvolvimentoMotorNormal* incluiu os componentes principais analisados por um fisioterapeuta (reflexos, reações, planos de movimento, padrões de movimento, habilidades motoras e valores); e *Pacientes* incluiu alguns estudos de caso de pacientes reais. As subclasses de *DesenvolvimentoMotorNormal* foram também refinadas.

Em seguida foram representadas as propriedades pertencentes a cada idade motora (diagnóstico), incluindo seus respectivos componentes do DMN. Um exemplo é a propriedade *temReflexo* que conecta indivíduos da classe *Reflexo* com indivíduos da

classe *IdadeMotora*. Para a descrição completa do domínio declarou-se os axiomas de definição para cada subclasse de *IdadeMotora*, descrevendo os componentes do DMN necessários para realizar um diagnóstico.

O método escolhido para a representação do conhecimento foi uma ontologia porque permite a representação formal do conhecimento tácito (aquele existente nas mentes das pessoas e que não se encontra expresso em meios concretos), como o existente na área de Fisioterapia Neuropediátrica.

Durante o desenvolvimento da ontologia utilizou-se duas metodologias: a *Methontology* [Fernández, Gómez-Pérez e Jurino 1997] e a *On-To-Knowledge Methodology* [Sure e Studer 2002]. Para modelagem da ontologia seguiu-se os seguintes processos da *Methontology*: desenvolvimento, gerenciamento e suporte. No processo de desenvolvimento seguiu-se as atividades de especificação, conceitualização, formalização, implementação e manutenção. No processo de gerenciamento realizou-se as atividades de controle e qualidade. O processo de suporte foi realizado em paralelo aos processos mencionados anteriormente, englobando as atividades de aquisição do conhecimento, avaliação (análise das questões de competência e da coerência da taxonomia) e documentação. É importante salientar que na atividade de especificação utilizou-se os preceitos da *On-To-Knowledge Methodology*.

A implementação da ontologia foi realizada na ferramenta de edição Protégé¹. Esta ferramenta apresenta arquitetura expansível, fácil usabilidade e bom nível de detalhamento. Escolheu-se a OWL-DL (*Web Ontology Language – Description Logic*) como linguagem formal de representação por ser uma recomendação da W3C (*World Wide Web Consortium*) para o desenvolvimento de ontologias formais.

4.3. Verificação de Consistência

Em uma ontologia utilizam-se mecanismos de inferência para inferir informações que não estão explicitamente representadas. Estes mecanismos servem para verificar a lógica do modelo, isto é, para analisar a sua consistência, a sua generalização, os seus relacionamentos de equivalência e a sua instanciação.

Uma ontologia permite a distinção entre o conhecimento intensional, ou conhecimento geral sobre o domínio do problema, e o conhecimento extensional, que é específico de um problema particular. Em uma base de conhecimento ontológica a *Description Logic* (DL) é tipicamente composta por dois componentes: uma *TBox* e uma *ABox*. A *TBox* contém o conhecimento intensional na forma de uma terminologia e é construída através de declarações que descrevem propriedades gerais de conceitos. A forma básica de declaração em uma *TBox* é a definição de conceito, ou seja, a definição de um novo conceito com base em outros já definidos.

Para verificação de consistência da ontologia utilizou-se uma ferramenta chamada RACER (*Renamed ABox and Concept Expression Reasoner Professional*), que pode ser utilizada em conjunto com outras ferramentas como o Protégé. O RACER implementa o algoritmo *Tableau*, e através desta ferramenta foi possível realizar as seguintes verificações na *TBox*:

¹ <http://protege.stanford.edu/>

- Subordinação ou subclassificação: a partir das restrições declaradas em cada classe infere se uma classe é subclasse de outra;
- Satisfazibilidade ou consistência de conceitos: analisa se há uma interpretação que satisfaça o axioma;
- Equivalência: verifica se dois conceitos são equivalentes;
- Disjunção: determina que dois conceitos disjuntos não podem compartilhar a mesma instância.

4.4. Desenvolvimento do Sistema Especialista

A representação do conhecimento utilizando uma ontologia e a criação e a definição dos axiomas nesta ontologia permitiram a descrição completa de conceitos relacionados ao domínio em questão, o da Fisioterapia Neuropediátrica. Estes axiomas tornaram possível a construção de uma base de conhecimento com 12 regras, cada regra capaz de classificar um paciente em uma idade motora entre 1 e 12 meses de idade.

Para a melhor visualização do conjunto de regras obtidos, apresenta-se cada uma delas no formato de regras de produção do tipo: “SE (antecedente) ENTÃO (conseqüente)”, como se segue:

- SE ((MovimentoLaterolateral = 0) E
(ReflexodeLiberacaodasViasAereasIntenso = 1) E
(ReflexodeColocacaodoMembroInferiorFraco = 0)) ENTÃO Mês = 1
- SE ((MovimentoLaterolateral = 0) E
(ReflexodeLiberacaodasViasAereasIntenso = 1) E
(ReflexodeColocacaodoMembroInferiorFraco = 1) ENTÃO Mês = 2
- SE ((MovimentoLaterolateral = 0) E
(ReflexodeLiberacaodasViasAereasIntenso=0) E
(ReflexodePreensaoTonicaPalmarFraco = 1) ENTÃO Mês = 3
- SE ((MovimentoLaterolateral = 0) E
(ReflexodeLiberacaodasViasAereasIntenso=0) E
(ReflexodePreensaoTonicaPalmarFraco = 0)) ENTÃO Mês = 4
- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E
(ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 1) E
(MovimentoRotacional = 0)) ENTÃO Mês = 5
- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E
(ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 1) E
(MovimentoRotacional = 1) E
(ReacaodeProtecaoparaosLadosParcial = 0)) ENTÃO Mês = 6
- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E
(ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 1) E
(MovimentoRotacional = 1) E
(ReacaodeProtecaoparaosLadosParcial = 1)) ENTÃO Mês = 7

- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E
(ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 0) E
(ReacaodeProtecaoparaTrasCompleta = 0) E
(ReflexodePreensaoTonicaPlantarFrac = 0)) ENTÃO Mês = 8
- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E
(ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 0) E
(ReacaodeProtecaoparaTrasCompleta = 0) E
(ReflexodePreensaoTonicaPlantarFrac = 1)) ENTÃO Mês = 9
- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E
(ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 0) E
(ReacaodeProtecaoparaTrasCompleta = 1) E
(RealizaMarchaIndependenteParcial = 0) E
(RealizaMarchaIndependenteCompleta = 0)) ENTÃO Mês = 10
- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E
(ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 0) E
(ReacaodeProtecaoparaTrasCompleta = 1) E
(RealizaMarchaIndependenteParcial = 1)) ENTÃO Mês = 11
- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E
(ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 0) E
(ReacaodeProtecaoparaTrasCompleta = 1) E
(RealizaMarchaIndependenteParcial = 0) E
(RealizaMarchaIndependenteCompleta = 1)) ENTÃO Mês = 12

Estas regras foram implementadas em um *shell* para desenvolvimento de sistemas especialistas chamado SINTA². Um sistema especialista utilizando este *shell* examina a informação fornecida pelo usuário e verifica a base de regras. Através do mecanismo de encadeamento para frente, primeiro tenta-se comprovar, por dedução, a primeira regra. Se as informações fornecidas correspondem aos antecedentes desta regra, então o caso é classificado como pertencente ao “mês 1” de idade motora. Se não houver correspondência o *shell* progride para a próxima regra e continua até que uma das 12 regras seja provada. Este simples sistema especialista pode ser bastante útil no processo de apoio à decisão no diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

5. Resultados e Discussão

Esta seção apresenta os principais resultados e a experiência adquirida durante o desenvolvimento da ontologia.

Na fase de aquisição do conhecimento, durante as entrevistas estruturadas com os especialistas no domínio, solicitou-se que fossem preenchidos 12 questionários. Cada

² <http://www.lia.ufc.br>

um destes questionários possuía 49 itens, perfazendo um total de 588 itens avaliados por especialista.

É importante salientar que, em Fisioterapia Neuropediátrica, assim como em várias outras áreas da saúde, existem diferentes escolas de pensamento que direcionam a prática profissional, fornecendo diferentes abordagens para o problema de diagnóstico. Devido a esta diferença nas abordagens das diferentes escolas de pensamento, seria bastante difícil estabelecer um conhecimento consensual, tornando praticamente impossível a construção da ontologia. Como consequência da falta de consenso, a base de conhecimento criada poderia ser inconsistente, tornando o sistema de apoio à decisão inútil. Portanto, este trabalho está direcionado pela escola mais difundida em Fisioterapia Neuropediátrica, criada por Karel and Bertha Bobath [Bly 1994] [Levitt 1995] [Torre 2001], usualmente referenciada como Conceito Neuroevolutivo Bobath. Como mencionado na seção 4.1, a aquisição do conhecimento foi realizada com 3 fisioterapeutas especialistas. Todos pertenciam à mesma escola de pensamento, garantindo mais consistência e confiabilidade na ontologia resultante e na base de conhecimento. Assim, considerando o grande número de itens a serem avaliados pelos especialistas, algumas divergências de opinião ocorreram. A ocorrência de conflitos foi relativamente baixa, correspondendo a apenas 7% dos itens (41 dos 588). Este nível de divergência entre os especialistas da mesma escola foi dirimido com a metodologia IBIS que foi adequada e eficiente a esta tarefa.

A representação do conhecimento foi realizada utilizando o Protégé. A Figura 1 mostra a hierarquia de classes de alto nível da ontologia desenvolvida. As classes mencionadas na figura são aquelas definidas na seção 4.2. A classe *DesenvolvimentoMotorNormal* inclui todos os componentes do DMN (não expandidos na figura) necessários para o diagnóstico de um paciente em cada classe de *IdadeMotora*. A classe Valores inclui as intensidades de cada componente do DMN.

Esta estrutura hierárquica fornece como resultado a organização e a formalização do conhecimento sobre diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica. A versão atual da ontologia é composta por 100 classes e subclasses, 30 propriedades e 200 axiomas. Esta ontologia permitiu a criação de um vocabulário consensual sobre o domínio, incluindo conceitos com definições completas através de seus relacionamentos e axiomas.

A verificação da completude e consistência desta ontologia por meio do algoritmo *Tableau*, conforme metodologia descrita na seção 4.3, mostra que não houve inconsistências lógicas no modelo gerado.

Conforme relatado na seção 2 o reconhecimento de casos de pacientes patológicos embasa-se no reconhecimento do que se considera normal em desenvolvimento motor. Assim, a Figura 1 apresenta que o processo de Aquisição do Conhecimento com os especialistas possibilitou mapear as cinco classes de conceitos que definem este Desenvolvimento Motor Normal, algo que ainda não estava definido pela literatura da área de Fisioterapia Neuropediátrica.

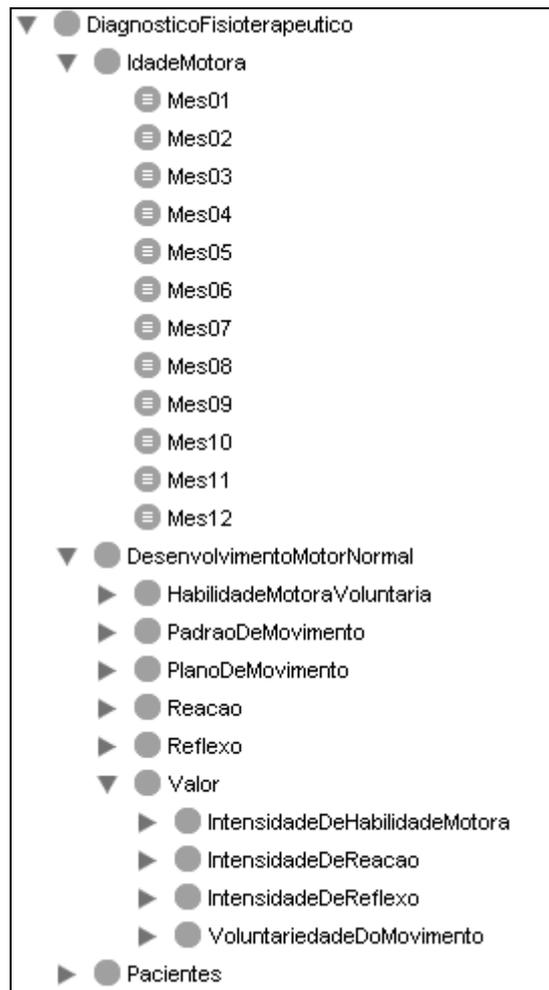


Figura 1. Hierarquia de classes de auto nível.

As definições detalhadas dos conceitos e de seus relacionamentos permitiram a criação de uma base de regras de produção. Desta forma, a terminologia e o conhecimento estruturado obtidos através da ontologia foram a base para um sistema especialista que pode ser utilizado para apoio à decisão. Através de sua interface amigável, este sistema pode auxiliar o usuário no processo de diagnóstico. Além disto, o sistema pode ser útil para ensinar o caminho que se percorre para que se chegue ao diagnóstico, pois o *shell* Expert SINTA tem ferramentas de depuração e explanação. Isto pode prover explicações dos resultados obtidos durante o procedimento de inferência, sob o formato de uma árvore de decisão com todos os passos do diagnóstico.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho o conhecimento foi elicitado de especialistas do domínio e complementado com livros texto referência na área. O conhecimento foi representado formalmente como uma ontologia, utilizando processos metodológicos bem definidos. O formalismo inerente a metodologia permitiu o desenvolvimento de uma base de conhecimento com completude e consistência verificadas. Esta ontologia representa um vocabulário de consenso no domínio do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica,

permitindo o reuso e o compartilhamento do conhecimento. É importante salientar a integração de diferentes metodologias, como a técnica de questionamento de LaFrance, a metodologia IBIS para gerenciamento de conflitos, e a Methontology e a On-To-Knowledge Methodology para desenvolvimento da ontologia.

Além disto, a utilização da ontologia para estruturação do conhecimento foi útil não somente para categorizar as informações coletadas em hierarquias de conceitos, mas também para compreender os relacionamentos entre conceitos, e, principalmente, para permitir a definição completa dos conceitos utilizando os axiomas. Estes axiomas suprimiram o conhecimento necessário para a criação das regras de produção em um sistema especialista.

Para a área de Fisioterapia Neuropediátrica, a definição das subclasses que representam e definem o conceito Desenvolvimento Motor Normal é algo bastante importante e útil, tanto do ponto de vista do diagnóstico, como para a compreensão das informações que são relevantes durante a realização deste diagnóstico.

Como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver uma aplicação da ontologia e do sistema especialista na área de educação. Acredita-se que a ontologia desenvolvida possa ter aplicabilidade como uma ferramenta de apoio ao processo de ensino-aprendizagem na área de Fisioterapia.

Referências

- Bly, L. (1994), *Motor Skills Acquisitions in the First Year, Therapy Skill Builders*.
- Evans, D.A., Cimino, J., Hersh, W.R., Huff, S.M. and Bell, D.S. (1994). Toward a medical concept representation language: the Canon Group. In *The Journal of American Medicine Information Association*, pages 207-214. AMA.
- Fernández, M., Gómez-Pérez, A. and Jurino, N. (1997). Methontology: From Ontological art Towards Ontological Engineering. In *Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Ontological Engineering*. AAAI Press.
- Flehmig, I. (1992), *Normal Infant Development And Borderline Deviations, Early Diagnosis And Therapy*, Thieme Medical Pub.
- Fensel, D. (2000). The Semantic Web and its Languages. In *IEEE Intelligent Systems*, pages 67-73. IEEE Educational Activities Department.
- Gómez-Pérez, A. (1999). Ontological Engineering: a state of the art. In *Expert Update*, pages 33-43. British Computer Society
- Gruber, T.R. (1993). A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. In *Knowledge Acquisition*, pages 199-220. Academic Press.
- Guarino, N. (1998), *Formal Ontology and Information Systems*, IOS Press.
- LaFrance, M. (1987). The Knowledge-acquisition Grid: a method for training knowledge engineers. In *Journal of Man-Machine Studies*, pages 245-255. Academic Press.

- Lenat, D.B. (1995). CYC: a large-scale investment in knowledge infrastructure. In *Communications of the ACM*, pages 33-38. ACM.
- Levitt, S. (1995), Treatment of Cerebral Palsy and Motor Delay, Blackwell Science.
- Noy, N. and Hafner, C. (1997). The State of the Art in Ontology Design: a survey and comparative review. In *Artificial Intelligence Magazine*, pages 18-53. IEEE Press.
- Russel, S., Norvig, P. (2003), Artificial Intelligence: a modern approach, Prentice-Hall.
- Schreiber, G., Wielinga, B. and Jansweijer, W. (1995). The Kactus View on the ‘o’ Word”. In *Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*. AAAI Press.
- Spackman, K.A., Campbell, K.E. and Cote, R.A. (1997). SNOMED-RT: a reference terminology for health care. In *Proceedings of the AMIA Fall Symposium*.
- Swartout, B., Patil, R., Knight, K. and Russ, T. (1997). Toward Distributed Use of Large-scale Ontologies. In *Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Ontological Engineering*. AAAI Press.
- Torre, C.A. (2001). Follow up and Purpose of Physiotherapy Treatment for Teenagers and Adults with Cerebral Palsy. In *Brain & Development*, pages 170-178. Elsevier.
- Uschold, M. (1996). Building Ontologies: towards a unified methodology. In *Proceedings of the 16th Annual Conference of the British Computer Society Specialist Group on Expert Systems*.
- Uschold, M. and Grüninger, M. (1996). Ontologies: principles, methods and applications. In *Knowledge Engineering Review*, pages 93-155. Peter McBurney.
- Rittel, H. and Webber, M. (1973). Dilemmas in a General Theory of Planning. In *Policy Sciences*, pages 155 – 169. Elsevier.
- Sure, Y., Studer, R. (2002), On-To-Knowledge Methodology: final version, Institute of Applied Informatics and Formal Description Methods.
- Zhou, X., Wu, Z., Yin, A., Wu, L., Fan, W. and Zhang, R. (2004). Ontology Development for Unified Traditional Chinese Medical Language System. In *Artificial Intelligence in Medicine*, pages 15-27. Elsevier.