

USO DE ONTOLOGIAS E TRATAMENTO DA NÃO- MONOTONICIDADE NOS SISTEMAS DE APOIO A DECISÃO

THE USE OF ONTOLOGIES AND THE TREATMENT OF NON-MONOTONICITY IN DECISION SUPPORT SYSTEMS

Roberto Heinzle¹

RESUMO

Os Sistemas de Apoio à Decisão compõem uma classe de sistemas de informação caracterizados por fornecer instrumentos ou subsídios úteis ao processo decisório desenvolvidos pelos gestores das organizações. Em sua versão contemporânea, eles empregam intensamente técnicas de inteligência artificial para oferecer suporte nos processos cognitivos desenvolvidos pelos gestores no âmbito da tomada de decisão. Busca-se com a aplicação dessas tecnologias minimizar as dificuldades relacionadas às limitações da capacidade de inteligência e de percepções da mente humana para considerar e tratar a totalidade de aspectos de valor e de conhecimento que podem ter importância num processo decisório. Para tal é crescente o emprego de ontologias como formalismo para a representação do conhecimento do domínio da aplicação do sistema, permanecendo ainda a dificuldade para o desenvolvimento do raciocínio não- monotônico sobre este conhecimento. Este artigo apresenta os resultados alcançados para integração do raciocínio não-monotônico nos SAD amparados por ontologias, com vista a torná-los mais efetivos no auxílio aos processos cognitivos desenvolvidos no contexto de um processo de tomada de decisão. Dessa forma, percebeu-se que os princípios que fundamentam a Teoria do Raciocínio de Peirce, podem ser aplicados para a criação do modelo proposto com tal finalidade.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de Apoio a Decisão. Raciocínio Não-monotônico. Abdução.

ABSTRACT

The Decision Support Systems are a class of information systems characterized by providing subsidies or instruments useful to the decision-making process developed by managers of organizations. In its contemporary version, they employ intensely artificial intelligence techniques in order to support the cognitive processes undertaken by managers within the decision-making. These technologies application intend to minimize the difficulties related to the limited capacity of intelligence and insights of the human mind to consider and address all aspects of value and knowledge that may be important in decision making. To do so, it is increasing the use of ontologies as formalism for knowledge representation in the system, while still remaining the difficulty for development of non-monotonic reasoning on this knowledge. This article presents the results for the integration of non-monotonic reasoning in a SAD supported by ontologies, in order to make them more effective in helping the cognitive processes developed in the context of a process of decision making. Thus, it was noticed that the principles underlying the theory of Peirce's reasoning can be applied to the creation of the proposed model for this purpose.

KEYWORDS: Decision Support Systems. Non-monotonic reasoning. Abduction.

Introdução

Os Sistemas de Apoio à Decisão - SAD são sistemas de informação que objetivam fornecer instrumentos ou subsídios úteis aos gestores das organizações no processo de tomada de decisão.

¹ Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento - UFSC. Professor da Universidade Regional de Blumenau-FURB. E-mail: heinzle@furb.br

São sistemas computadorizados que oferecem recursos que permitam comparar, analisar, simular e apoiar a seleção de alternativas, com base na geração de cenários, que envolvem um significativo número de variáveis relacionadas ao domínio de um processo decisório. Possuem características tecnológicas diferenciadas e utilização específica, aspectos que os distinguem de outros tipos de sistemas de informação.

Laudon e Laudon (2001) que, diferentemente dos demais autores, chama-os de “Sistemas de Suporte à Decisão - DSS”, afirmam tratar-se de uma classe de sistemas que ajuda os gestores a tomarem decisões em situações ou problemas que são semi ou não estruturadas, únicos ou sujeitas a mudanças rápidas. Para os autores, esses sistemas auxiliam o executivo, sobretudo nas etapas de desenvolvimento, comparação e classificação de riscos, fornecendo subsídios úteis para a escolha de uma alternativa por meio da geração de múltiplos cenários de informações. De acordo com esses autores tal funcionalidade é obtida pela combinação de dados e modelos analíticos sofisticados no sistema. Embora outros tipos de sistemas de informação também auxiliem de várias formas o processo de tomada de decisão, os DSS formam uma classe específica de sistemas, devido a cinco características que os diferenciam dos demais, Laudon e Laudon (2001, p. 27):

1. Oferece aos usuários flexibilidade, adaptabilidade e respostas rápidas;
2. Permite aos usuários iniciar e controlar as entradas e saídas;
3. Opera com pouca ou nenhuma assistência de programadores profissionais;
4. Oferece suporte para decisões e problemas para os quais as soluções não podem ser especificadas previamente;
5. Usa análises sofisticadas e ferramentas de modelagem.

Devido a essas características, desde os anos 80 foram feitas tentativas de aplicar técnicas de Inteligência Artificial-IA para potencializar a capacidade dos SAD (POWER, 2002). Inicialmente técnicas de reconhecimento de padrões e de aprendizagem de máquina foram empregadas.

A partir dos anos 90, já no contexto da era da informação e do conhecimento, os SAD passaram a ser vistos como uma tecnologia da Engenharia do Conhecimento. Tratou-se do início de uma nova geração de Sistemas de Apoio à Decisão, caracterizada pela intensificação do uso de métodos e técnicas de inteligência artificial e pela exploração dos novos recursos tecnológicos e facilidades de comunicação (BISPO, 1998).

Power (2002) afirma que é por volta da metade da década que surge a geração dos SAD dirigidos por conhecimento, os quais ele chama de *knowledge-driven DSS*. Semelhante é o entendimento de Shim et al. (2002), que observam que foi por conta da incorporação intensa de métodos e técnicas de inteligência artificial e da plataforma web que, na virada do século, os SAD tiveram significativo incremento de potencialidade, estenderam seu escopo e obrigaram pesquisadores a ampliar o conceito e a visão dos SAD

Desde então, os Sistemas de Apoio à Decisão são caracterizados pela capacidade de oferecer ao usuário recursos de suporte aos processos cognitivos desenvolvidos no contexto de um processo de tomada de decisão. São recursos que buscam minimizar as dificuldades relacionadas às limitações da capacidade de inteligência e de percepções da mente humana para considerar e tratar a totalidade dos aspectos de valor e de conhecimento que podem ter importância num processo decisório. A viabilização desse suporte está vinculada a um adequado mapeamento da semântica do negócio no sistema, o que é possível com a utilização de modelos de conhecimento e mecanismos de raciocínio automático sobre estes modelos.

No que se refere à representação do conhecimento, existem múltiplas formas e mecanismos para sua viabilização, cada qual fornecendo um aparelho simbólico e construções sintáticas próprias. Entre estas estão as ontologias, as quais vêm recebendo especial atenção dos pesquisadores e tornaram-se a opção preferencial nos trabalhos recentes. (HEINZLE, 2011). Já no que diz respeito à segunda tecnologia, o raciocínio computacional, o desenvolvimento de sistemas dotados de tal faculdade envolve a utilização de mecanismos lógicos de inferência com os quais é

simulado na máquina um processo inteligente. Esse mecanismo possibilita a inferência de novas verdades baseados em verdades existentes, ou seja, permite tirar conclusões derivadas a partir do domínio do conhecimento contido na base de conhecimentos.

Em geral, entretanto, este processo de inferência, mesmo naqueles sistemas que utilizam a ontologia como mecanismo de representação do conhecimento, utiliza a lógica matemática tradicional, ou lógica clássica, num raciocínio chamado de monotônico. Essa forma de raciocínio se aplica a um domínio específico, no qual está disponível um modelo de conhecimento consistente e completo, ou seja, todo o conhecimento relacionado ao domínio da aplicação está disponível e não há contradição entre as várias porções que o compõem. Nesses sistemas, se for inserido conhecimento novo, não há a revisão do conhecimento anteriormente estabelecido, apenas o conjunto de declarações verdadeiras aumenta.

Evidentemente, essas características do raciocínio monotônico impõem limitações importantes à capacidade semântica dos sistemas, tornando-os inaplicáveis como suporte efetivo para muitos dos processos cognitivos desenvolvidos pelo gestor na solução de problemas do mundo real. É nesse cenário que emerge o objeto deste trabalho, ou seja, nos aspectos relacionados ao raciocínio não-monotônico nos sistemas de apoio à decisão. O foco está em buscar alternativas às deficiências do raciocínio monotônico, como consequência inerente às tecnologias empregadas em sua concepção e desenvolvimento.

Assim sendo, buscou-se uma alternativa nos princípios que fundamentam a Teoria do Raciocínio de Peirce. Nela, Charles Sanders Peirce preconiza que o processo de concepção de hipóteses é também um raciocínio lógico e que são três os tipos de inferência: a dedução, a indução e a abdução. Para Peirce (1972), a concepção de hipóteses é um raciocínio lógico que antecede as inferências dedutivas e indutivas e, as três, juntas, compõem as funções essenciais da mente cognitiva. O raciocínio abdução foi da inovação apresentada por ele, pois, até então, a lógica e a teoria do conhecimento tradicional reconheciam apenas os raciocínios dedutivo e indutivo. Trata-se de uma característica que sinalizava certa convergência teórica com os requisitos conceituais dos sistemas de conhecimento, em especial, naquilo que se refere aos recursos relativos à geração de cenários e à simulação e seleção de alternativas relacionadas ao domínio de um processo decisório. Um indicativo que, entretanto, ainda representava uma lacuna nas pesquisas, sobretudo quanto à integração da abdução nos sistemas de apoio à decisão e que usam ontologia para a representação do conhecimento.

Conhecimento e Raciocínio Computacional

Nos sistemas de informação contemporâneos a tendência é manipular não mais apenas a informação, mas principalmente conhecimento. Nesse sentido, a exemplo deste trabalho, as investigações envolvem alternativas para a modelagem e representação dos objetos do domínio em que se aplica o sistema, e também para os relacionamentos entre esses objetos, além de métodos para raciocínio automático com base nesta representação. Entre esses novos sistemas estão os denominados de sistemas de apoio à decisão ou de sistemas de conhecimento ou, ainda, de sistemas inteligentes, uma vez que todos incluem uma base de conhecimento e certa faculdade de raciocínio.

Representação do Conhecimento

Representação de conhecimento é denominação dada aos métodos usados para modelar o conhecimento relacionado a certo domínio de problema. Trata-se de um conjunto de convenções sintáticas e semânticas, que torna possível descrever um mapeamento entre os objetos e as relações envolvidos neste domínio. Para Araújo (2003) representar conhecimento é o ato de documentar ou expressar, pela linguagem simbólica, textual ou algorítmica, os fatos e as ações, de modo que possam ser corretamente interpretadas e reconstruídas por outra entidade.

Ontologia

A palavra ontologia é de origem grega e significa *ontos*(ser) + *logos*(conhecimento sobre), tendo sido criada entre os séculos XVII e XVIII, por filósofos alemães para denominar o ramo da filosofia que trata da natureza e da organização do ser. A partir do início da década de noventa do século passado, o termo foi adotado pelas áreas da Engenharia do Conhecimento, dos Sistemas de Informação e da Ciência da Computação, quando recebeu adaptações em sua definição e passou a ter outra interpretação. Primeiramente, Gruber. (1993) afirmou que uma ontologia é uma “especificação formal, explícita e compartilhada de uma conceitualização”. Esclarece o próprio autor, a terminologia empregada: “conceitualização” indica que se trata de um modelo abstrato que representa algum fenômeno ou objeto do mundo real; “formal” implica que ela possa ser compreendida por uma máquina; “explícita” indica que os conceitos, suas restrições e relações precisam ser explicitamente definidos e; “compartilhada” diz respeito ao fato de que nela reside um conhecimento aceito de forma consensual, não individual. Nos dias atuais, há relativo acordo em torno do entendimento de que uma ontologia é um registro de comprometimentos ontológicos, mas permanecem ainda discussões e divergências relacionadas à forma de que como é feito este registro. (MOREIRA; ALVARENGA; OLIVEIRA, 2004).

Para Chandrasekaran e Josephson (1999), o termo ontologia na Engenharia do Conhecimento e na Ciência da Computação, refere-se à representação de um vocabulário relacionado a certo domínio, no qual a qualificação não está no vocabulário, mas sim nos conceitos expostos por ele. Adicionalmente, o autor afirma que uma ontologia pode também se referir a um conjunto de conhecimentos que descreve algum domínio, usando um vocabulário representativo. Semelhante é entendimento apresentado em Novello (2003), em que a ontologia é descrita como um vocabulário de uma área que define, com diferentes níveis de formalismo, os significados de termos e dos relacionamentos entre eles. Para a autora, ontologias objetivam “capturar o conhecimento declarativo do domínio e fornecer uma compreensão deste, possibilitando o reuso e compartilhamento através de aplicações”.

As ontologias empregam alguns componentes básicos na formalização do conhecimento, sendo eles: classes, relacionamentos, axiomas e instâncias. As classes são as unidades básicas de toda ontologia. Elas representam coleções de elementos que possuem atributos iguais e formam conceitos que definem um determinado objeto. Os conceitos representam todas as coisas relacionadas ao domínio que se pretende modelar, incluindo objetos, tarefas, ações etc. As ligações entre esses conceitos se dão por meio dos relacionamentos ou relações. As relações descrevem as interações entre os conceitos, as quais representam os relacionamentos semânticos envolvidos no domínio. Os axiomas são regras concernentes às relações que devem obrigatoriamente ser cumpridas pelos elementos de uma ontologia, são restrições. Já as instâncias representam os elementos ou objetos da ontologia, são os exemplares individuais das classes.

São evidentes os interesses da Engenharia do Conhecimento e da Ciência da Computação para com as ontologias. Eles estão relacionados ao desenvolvimento de soluções que envolvem o raciocínio computacional automático (viável devido ao formalismo declarativo da especificação), a interoperabilidade e reuso entre sistemas e agentes (garantido pela exigência de que o conhecimento representado deve ser formal e compartilhado) e suporte à integração e gestão do conhecimento, por meio de unificação e explicitação de termos conceitos, categorias e relações relativas ao domínio e presentes na ontologia (eliminando ambiguidades).

É preciso, todavia, esclarecer que uma ontologia não deve ser confundida com uma base de conhecimentos, pois não são sinônimos (RIOS, 2005), mesmo que ambas possam compartilhar da mesma forma de representação do conhecimento, como as redes semânticas ou os frames. Uma ontologia pode ser um componente de uma base de conhecimentos, na forma de um alicerce sobre o qual a base de conhecimentos será construída. Na medida em que a ontologia provê um conjunto a ser compartilhado (em torno do qual há consenso) de conceitos, relações, restrições e axiomas para descrever um domínio, o qual pode um não estar associado a algum sistema. Já uma base

de conhecimento diz respeito a uma implementação, a um sistema que pode utilizar uma ontologia para representar o que é verdade sobre algum mundo real ou imaginário (OLIVEIRA, 1999), como também pode incluir o ponto de vista ou entendimento individual próprio daquela implementação. Essa opinião é compartilhada por Russell e Norvig (2004), para quem uma ontologia pode ser um produto intermediário associado a um produto final que é base de conhecimentos. Assim, é correto afirmar que uma base de conhecimentos é uma implementação atual de uma ontologia em uma aplicação - uma distinção adotada no presente trabalho.

Para construir ontologias existem algumas linguagens formais específicas, entre elas a *OWL*. A *OWL-Ontology Language* é uma linguagem que integra as tecnologias recomendadas pelo Consórcio W3C desde Fevereiro de 2004 (W3C, 2004). A OWL disponibiliza instrumentos para explicitar o significado de termos e relacionamentos. A lógica formal descritiva é empregada como mecanismo para expressar semântica por axiomas lógicos. Segundo W3C (2004), a linguagem foi projetada para aplicações que necessitam processar o conteúdo das informações, não apenas apresentar informações aos seres humanos, e que seu uso é indicado quando se pretende:

- Formalizar um domínio por meio da definição de classes e suas propriedades;
- Definir instâncias e suas propriedades;
- Raciocinar a respeito dessas classes e instâncias.

Os elementos básicos que compõem uma ontologia escrita em OWL são as classes, as propriedades, as instâncias dessas classes e os relacionamentos entre as instâncias. (SMITH; WELTY; MCGUINNESS, 2004). A classe é o conceito mais básico para descrever um domínio de aplicação de uma ontologia, pois se trata do mecanismo de abstração para agrupar entidades com características afins. Por meio delas constrói-se uma árvore, que corresponde à taxonomia implícita na ontologia e na qual uma subclasse herda as propriedades da classe a qual está subordinada. A raiz dessa árvore é a classe *owl: Thing*, que já é pré-definida e da qual todas as outras, criadas no processo de modelagem do conhecimento, serão subclasses. Aos indivíduos de uma classe é dada a denominação de instâncias ou objetos.

As propriedades são relações binárias que descrevem características e relacionamentos entre classes ou indivíduos por meio dos quais é possível afirmar fatos sobre eles. Em OWL existem duas categorias de propriedades: *Datatype Property* - que associa indivíduos a valores de dados; e *Object Property* - que é empregada para associar classes ou indivíduos. Relacionadas às propriedades existem declarações para impor a elas restrições e caracterizações. *Domain* (domínio) e *range* (escopo) são os elementos da linguagem para definir os conjuntos de indivíduos válidos envolvidos numa relação. No domínio estão os indivíduos que se conectam a outros indivíduos que integram um determinado escopo. Já as restrições dizem respeito a valores e cardinalidade (*cardinality*). Mais detalhes sobre as ontologias podem ser obtidos Heinzle (2011).

Raciocínio Computacional

Assim como as questões relacionadas aos formalismos da representação do conhecimento, também o raciocínio computacional tem importância central nos sistemas de apoio à decisão. O desenvolvimento desses sistemas computacionais, dotados de certa faculdade de raciocínio, envolve a utilização de mecanismos lógicos de inferência com os quais é simulado na máquina um processo inteligente. É por meio desse mecanismo que é possível a inferência lógica de novas verdades com base em verdades existentes, ou seja, é possível ao sistema tirar conclusões derivadas a partir do domínio do conhecimento contido na base de conhecimentos.

Em geral, nos sistemas de conhecimento, o processo de inferência utiliza a lógica matemática tradicional, ou lógica clássica, num raciocínio chamado de monotônico. Nele não existe a possibilidade de revisão de crenças e verdades, somente é permitido aumentar o estoque de verdades com a inclusão de mais conhecimento. Aqui o desencadeamento de um processo de raciocínio inicia-se com um conjunto de axiomas, assumidos como verdadeiros, e daí são inferidas as suas

consequências. Como os sistemas de raciocínio monotônico empregam a lógica clássica e lidam com conhecimento certo e completo, eles sempre desenvolvem inferências corretas, motivo pelo qual ele é conhecido também como raciocínio irrefutável. Segundo Ladeira (1997, p.28), o raciocínio monotônico é caracterizado por três aspectos:

- a) os fatos necessários à solução de um problema estão presentes no sistema ou podem ser deriváveis dos fatos presentes usando axiomas e regras de inferência da lógica de primeira ordem;
- b) os fatos (e sua representação) são consistentes;
- c) à medida que novos fatos tornam-se disponíveis, se eles forem consistentes com todos os outros fatos já definidos, nenhum dos fatos existentes será alterado.

Essas características do raciocínio monotônico o tornam inaplicável para muitos dos problemas do mundo real, já que é incompatível com algumas maneiras naturais de se pensar. Como alternativa, tem-se buscado o desenvolvimento de sistemas que admitam o raciocínio não-monotônico. O objetivo é viabilizar suporte ao problema de crenças que podem ser modificadas e a questão do tratamento da incerteza. O sistema deve ser capaz de prosseguir um raciocínio nessas circunstâncias, fazendo as suposições mais razoáveis num cenário de incerteza ou incompletude, chegar a conclusões, e mesmo fazer um reexame dessas se uma crença ou proposição mudar. Neste caso, a base de conhecimentos não avança monotonicamente e a inclusão de uma nova asserção pode negar uma inferência que era dependente da inexistência daquela asserção.

O raciocínio não-monotônico é também conhecido como raciocínio derrotável (LADEIRA, 1997, p.29), e como raciocínio restaurável. (LUGER, 2004, p.294). A primeira denominação deve-se ao fato de que uma inferência pode se tornar inválida com a adição ou subtração de novas asserções na base de conhecimentos, e se elas implicarem violar suposições feitas durante um processo de raciocínio anterior. Já o adjetivo restaurável está relacionado à possibilidade de que conclusões obtidas por esse raciocínio poderem ser reconsideradas ou retratadas, como consequência de mudanças na base de conhecimentos ou obtidas por meio de suposições adotadas durante o processo de inferência. Para isso, é necessária a existência de um mecanismo, chamado de SMV-Sistema de Manutenção da Verdade, ao qual cabe preservar a consistência da base de conhecimentos.

Um SMV (tradução de *Truth Maintenance System-TMS*) é um mecanismo ao qual cabe proteger e preservar a integridade lógica da base de conhecimentos de sistemas não-monotônicos. De forma geral, ele rastreia e preserva os passos das inferências e justificativas de conclusões alcançadas. Assim, ele pode fazer recálculos e revisões quando fatos ou crenças mudarem ou se mostrarem incorretas. Entre as principais abordagens de SMV encontradas bibliografia está o SMVH-Sistema de Manutenção da Verdade Baseado em Hipóteses (tradução de *Assumption-based Truth Maintenance System-ATMS*) (LUGER, 2004) (RUSSELL; NORVIG, 2004) (LADEIRA, 1997).

O SMVH foi concebido para facilitar a troca de contexto entre mundos hipotéticos, fazendo para cada sentença da base de conhecimentos um controle das hipóteses que a tornam verdadeira. Formalmente, uma explicação de uma sentença P é um conjunto de sentenças E, tal que E tem P como consequência lógica. Se já se sabe que as sentenças contidas em E são verdadeiras, então E é simplesmente uma base suficiente para provar que P deve ocorrer. Entretanto, entre as explicações podem também estar hipóteses que não se sabe se são verdadeiras. Adicionalmente, pode-se fazer uma distinção entre as premissas que valem universalmente e aquelas feitas pelo raciocinador e que podem ser revistas posteriormente. (LUGER, 2004, p.299).

Peirce e os Tipos de Raciocínio

No campo da lógica, Peirce (1972) estudou os signos e seus aspectos lógico-científicos, sempre se baseando num princípio que defendeu por toda sua vida, que era a ideia de que os resultados lógico-científicos são provisórios, pois estão submetidos a mudanças contínuas. Para ele a inferência científica é um ato voluntário, que conduz à “adoção controlada de uma crença como consequência de outro conhecimento” (PEIRCE, 1972, p.32). Foi com base nesse entendimento, que Peirce buscou alternativas à lógica e à teoria do conhecimento tradicionais, os quais queria ampliar

para que o processo de concepção de hipóteses fosse também um raciocínio lógico, que antecederia as inferências dedutivas e indutivas. Nasceu daí a Teoria do Raciocínio de Peirce, ou lógica ampliada, que preconiza a existência de três tipos de inferências, que são a dedução, a indução e a abdução; os quais, segundo ele, comporiam as funções essenciais da mente cognitiva.

O raciocínio dedutivo é caracterizado por partir do universal para o particular, ou seja, de uma proposição mais geral conclui-se uma proposição particular. Deduzir é uma palavra de origem latina que significa levar, sendo o tipo de inferência mais simples e mais fidedigno. A dedução é a base da lógica clássica e Aristóteles a considerava um modelo de rigor lógico. A dedução pode ser vista como um mecanismo que organiza e especifica o conhecimento que já está disponível, a verdade estabelecida, a qual é aplicada para o caso particular e, assim, leva a conclusões. É um raciocínio que parte do geral para o específico, pela repetição no singular de um conhecimento universal, de forma a confirmar para um caso particular o funcionamento de uma regra geral.

Já o raciocínio abduutivo (também chamado raciocínio de hipótese) é a inovação apresentada por Peirce em sua teoria do raciocínio, pois, até então, a lógica e a teoria do conhecimento tradicional reconheciam apenas os raciocínios dedutivo e indutivo. Para ele, a abdução é o processo de inferência sintética, por meio do qual são formadas as hipóteses explicativas, a adoção probatória da hipótese, como tipicamente empregada nas descobertas científicas. Peirce destaca que, baseado na abdução, deve-se posteriormente constatar o resultado das suposições feitas, motivo pelo qual o raciocínio deve ser formulado sempre como pergunta, até que se possa ter uma conclusão sobre sua veracidade. Este é o motivo pelo qual ele o chamou de inteligência em movimento, acrescentando que o raciocínio abduutivo não deve ser confundido com mera intuição, embora a intuição esteja dentro dele. Afirma o autor:

Abdução é o processo de formação de uma hipótese explanatória. É a única operação lógica que apresenta uma idéia nova, pois a indução nada faz além de determinar um valor, e a dedução meramente desenvolve as consequências necessárias de uma hipótese pura. (PEIRCE, C.S.; 1977, p. 220).

Para ilustrar o processo de raciocínio abduutivo, é mostrado a seguir um exemplo extraído de Marcos e Dias (2005):

Num lindo dia de sol, está caindo água do telhado de uma casa.
A partir desse juízo perceptivo, são inferências abdutivas:
- Alguém está jogando água no telhado;
- A neve acumulada está derretendo;
- A caixa d'água está vazando.

Integração da Não-Monotonicidade Abduativa nos Sistemas de Apoio a Decisão

É explorando a compatibilidade entre a Teoria do Raciocínio de Charles Peirce e o SMVH-Sistema de Manutenção da Verdade Baseado em Hipóteses que, somados a uma gestão adequada das declarações componentes da ontologia, que se torna viável à integração da não-monotonicidade no modelo formulado. Na Figura 1 são mostrados os componentes com os quais é efetivada tal integração. O componente Manter Hipóteses refere-se a um processo que compreende as funcionalidades relacionadas à gestão de hipóteses. Com ele é possível fazer, e também desfazer, associações entre sentenças da ontologia e o conjunto de hipóteses que as tornam verdadeira, ou seja, estabelecer o controle entre os conjuntos de sentenças P e E, de que trata Luger (2004). Esses dois conjuntos são mostrados no esquemático da referida figura como dois depósitos de hipóteses, denominados de Sentenças E e Sentenças P, nos quais estão armazenadas tais hipóteses.

Ademais, deve ser destacada a existência de uma ligação entre o SMVH e a ontologia. Ela indica que está também no seu escopo a gestão dos reflexos na base do conhecimento dos impactos das alterações nos conjuntos de hipóteses. Esses reflexos consistem em lançar, alterar e omitir declarações na ontologia. Já a interface do sistema com o usuário deve oferecer um dispositivo para introduzir no sistema as simulações abduativas, o qual constitui o mecanismo para a construção de múltiplos cenários de mundo, por meio da criação de hipóteses, pelo usuário.

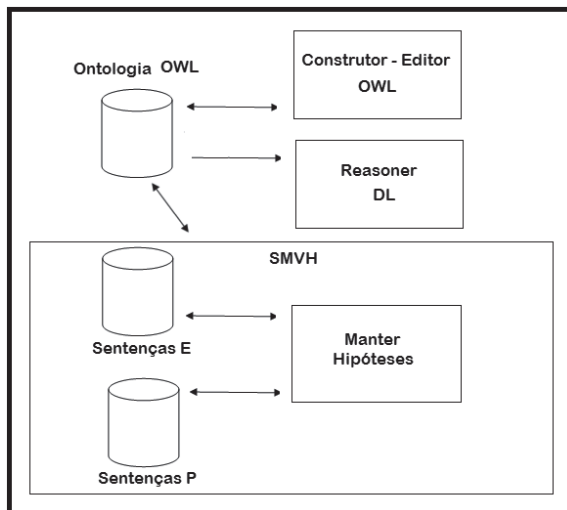


Figura 1 - Visão Esquemática do Modelo Proposto

Fonte: Do autor

Na interface devem estar disponíveis dois conjuntos de funcionalidades, as Abduativas e as Convencionais. As abduativas referem-se às operações com as quais o usuário interage com as hipóteses armazenadas no repositório correspondente. É por meio delas que se torna possível a geração de múltiplos cenários, inclusive o raciocínio abduativo, na medida em que o usuário pode introduzir no sistema as hipóteses que tem adoção probatória e com elas estudar fatos de interesse, ou seja, “o movimento da imaginação” ao qual se refere Eco (2009). As Simulações Convencionais agrupam operações que igualmente permitem ao usuário introduzir alterações no cenário do processo de tomada de decisão, mas agora sem envolver hipóteses. São alterações introduzidas nas bases de dados e de conhecimento, com as quais ele pode fazer ensaios e analisar reflexos e impactos, para com eles qualificar um processo de tomada de decisão.

Considerações finais

O objetivo principal deste trabalho foi construir um modelo de engenharia do conhecimento para integrar o raciocínio não-monotônico à capacidade semântica de sustentação às funcionalidades analíticas dos sistemas de apoio à decisão. Para isso, optou-se pela utilização conjunta da ontologia e da Teoria de Raciocínio de Peirce, os quais formaram os instrumentos basilares para a formulação do referido modelo. Assim, pode-se afirmar ao final da pesquisa que o seu objetivo geral foi atendido, uma vez que o modelo formulado constitui uma resposta adequada à referida questão.

Como recomendação de trabalhos futuros, ela está relacionada à questão da transição daquelas hipóteses ou suposições adotadas probatoriamente para a condição de efetivas na base de conhecimentos, conforme preconizada na Teoria do Raciocínio de Peirce. Na solução aqui desenvolvida, esta transição é feita exclusivamente pelo usuário gestor do sistema. Tal questão

sugere pesquisas adicionais com vistas a identificar alternativas para automação ou semiautomação deste processo, ainda que, possivelmente, não se possa considerar a eliminação total da intervenção humana nele.

Referências

- ARAÚJO, P.H.M. **Utilização de Redes Bayesianas na Representação do Conhecimento Empírico**. 2003. Dissertação de Mestrado (Gestão do Conhecimento e da Tecnologia da Informação), Mestrado Multidisciplinar em Gestão do Conhecimento e da Tecnologia da Informação, Universidade Católica de Brasília - UCB, Brasília, 2003. 105p.
- CHANDRASEKARAN, B.; JOSEPHSON, J.R. *What Are Ontologies, and Why do We Need Them?* **Intelligent Systems and their Applications**, v. 14, n. 1, p. 20-26, jan/fev 1999.
- ECO, U. **Tratado Geral de Semiótica**. 4. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2009. 304 p.
- GRUBER, T.R. *A Translation Approach to Portable Ontologies*. In: **Knowledge Acquisition**, v. 5, n. 2, p. 199-220, 1993.
- HEINZLE, Roberto. **Um Modelo de Engenharia do Conhecimento para Sistemas de Apoio a Decisão com Recursos para Raciocínio Abduutivo**. Tese de doutorado (Engenharia e Gestão do Conhecimento), Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. 251p.
- LADEIRA, M. **Representação do Conhecimento e Redes de Decisão**. 1997. Tese de doutorado (Ciência da Computação), Instituto de informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 150 p.
- LAUDON, K.C.; LAUDON, J.P. **Gerenciamento de Sistemas de Informação**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 433 p.
- LUGER, G. **Inteligência Artificial: estruturas e estratégias para a resolução de problemas complexos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004, 774 p.
- MOREIRA, A.; ALVARENGA, L.; OLIVEIRA, A.P. O nível do conhecimento e os instrumentos de representação: tesouros e ontologias. **DataGramaZero – Revista de Ciência da Informação**, v. 5, artigo 1, dez. 2004.
- NOVELLO. T.C. **Ontologias, sistemas baseados em conhecimento e modelos de banco de dados**. 2003. Disponível em: http://www.inf.ufrgs.br/~clesio/cmp151/cmp15120021/artigo_taisa.pdf. Acesso em: 10 maio 2008.
- OLIVEIRA, K. **Modelo para construção de ambientes de desenvolvimento de software orientados a domínio**. 1999. Tese de doutorado (Engenharia de Sistemas e Computação), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 222 p.
- PEIRCE, C.S. **Semiótica e Filosofia. Introdução, seleção e tradução de Octanny Silveira da Motta e Leonidas Hegenberg**. São Paulo: Cultrix Editora, 1972. 164 p.
- PEIRCE, C.S. **Semiótica**. Tradução de José Teixeira Coelho Netto. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1977, 352 p.
- POWER, D.J. **A Brief History of Decision Support Systems**. DSSResources.COM, World Wide Web, disponível em: <http://DSSResources.COM/history/dsshhistory.html>, version 2.1, 2002. Acesso em 20/out/2009.
- RIOS, J.A. **Ontologias: alternativa para a representação do conhecimento explícito organizacional**. In: CIFORM-Encontro Nacional de Ciência da Informação, 6., jun. 2005, Salvador-BA. **Anais...**

Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia, 2005. Disponível em: <http://www.cinform.ufba.br/vi_anais/docs/JocelmaRiosOntologias.pdf>. Acesso em 20/out/2009.

RUSSELL, S.; NORVIG, P; **Inteligência Artificial**. Tradução Vandenberg D. de Souza. Rio de Janeiro: Campus, 2004.1021 p.

SELL, D.; et al. *Adding Semantics to Business Intelligence*. In: *International Workshop on Database and Expert Systems Applications-DEXA*, 16., aug. 2005, Copenhagen-Denmark. **Proceedings...** Washington-DC: IEEE, 2005, p. 543-547.

SMITH, M. K.; WELTY, C.; MCGUINNESS, D. L. **OWL Web Ontology Language Guide – W3C Recommendation 10 February 2004**. Disponível em: <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>. Acesso em: 18 Nov. 2009.

W3C. **DAML+OIL (March 2001) Reference Description - W3C Note 18 December 2001**. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/dam+oil-reference>>. Acesso em: 04/set/2009.