

Serviços Semânticos na Utilização de Dados para a Consciência Situacional

Rainer Ferraz Passos e Prof. Dr. Adilson Marques da Cunha
Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Praça Mal. Eduardo Gomes 50 – São José dos Campos - SP

Resumo — Partindo de que qualquer empreendimento, inclusive uma Força Aérea, busca reduzir o desperdício de seus recursos humanos e materiais, assume-se a importância de adequada consciência situacional para otimizar o emprego dos meios. Este artigo propõe a utilização de serviços semânticos para aprimorar o acesso aos dados das diferentes redes de sensores. Dados esses capazes de compor uma adequada consciência situacional para apoiar as tomadas de decisão de uma organização. Para tal, apresentam-se algumas características relevantes das tecnologias semânticas e sua capacidade de produzir inferências sobre dados de diferentes tipos e fontes.

Palavras-chaves — Comando e Controle, Consciência Situacional, Web Service Semântico.

I. INTRODUÇÃO

Qualquer empreendimento procura reduzir o desperdício de seus recursos materiais e humanos em sua execução, ou seja, busca-se alocar pessoas e equipamentos de forma que as atividades sejam completadas com sucesso, mas com a menor ociosidade de operadores e de maquinário possível, bem como o menor consumo das matérias primas.

De forma semelhante, ocorre a condução de uma Força Aérea em combate ou em tempo de paz. Em uma Força Aérea necessita-se saber, tanto quanto possível, em qual contexto ela se inseri, qual o status atual de seus meios (quantidade, disponibilidade e posição), bem como a situação (*status*) do ambiente onde se realizam as ações e a do oponente, entre outras.

Esses dados e informações caracterizam o ambiente e permitem formar um conjunto de conhecimentos num certo instante. Este conjunto de conhecimentos, chamado de consciência situacional. Neste artigo ela é considerada maior, mais forte ou mais acurada, quanto mais elementos relevantes da força e do ambiente, incluindo o oponente, ela for capaz de representar.

Em atenção a essa necessidade de otimizar o emprego dos meios disponíveis, pesquisa-se a aplicabilidade e adequabilidade das tecnologias da Web Semântica, em uma Força Aérea.

Esta pesquisa aborda a capacidade de propiciar melhor tratamento desses dados, como por exemplo, a possibilidade de agregá-los em informações, facilitando a produção de conhecimento. Tudo isso tem como finalidade o aumento de uma consciência situacional e, dessa forma, mais adequada para apoiar a tomada de decisão dos comandantes.

Já para obtenção de várias dessas medidas do ambiente (os dados), utiliza-se de “medidores”, os sensores disponíveis, organizados em redes chamadas de *Sensor Networks*.

Rainer F. Passos, rainerfp@ita.br, Tel +55-12-39476890; Adilson M. Cunha, cunha@ita.br.

A. O contexto das Redes Semânticas de Sensores

O W3C (*World Wide Web Consortium*) responsável, em linhas gerais, por desenvolver tecnologias interoperáveis para o desenvolvimento da Web, mantém o *Semantic Sensor Network Incubator Group* (SSN-XG) [1].

Ele deve, até março de 2010: iniciar um processo formal de produção de ontologias que definam as capacidades de sensores e suas redes; bem como desenvolver a anotação semântica necessária para uma linguagem a ser usada por serviços baseados em redes de sensores.

Apesar de alguns desses termos receberem melhor esclarecimento nas demais seções deste artigo, ilustra-se seu contexto com o exemplo do artigo “*Semantic Sensor Web*” [2] referenciado pelo SSN-XG. Os seus autores comentam o caos ocorrido na fuga de moradores de Valley Park, Missouri - EUA, por causa do temor de cheia do rio Meramec e alagamento de suas casas, durante fortes tempestades que fustigaram a região em março de 2008.

Essa fuga e seus custos representam um efeito adverso, causado pela falta de consciência situacional das pessoas a respeito da capacidade da barragem recém construída conter o volume e a pressão de água no rio.

Nessa situação, unindo-se medidas dos sensores fluviais e pluviométricos, com dados das condições estruturais da barragem e seu nível de água instantâneo, obter-se-ia o conhecimento de que a construção suportaria o fluxo recebido, como ocorreu. Isso aponta que a decisão pela evacuação das pessoas foi desnecessária e a sua execução caracterizou um desperdício.

Sobre esse exemplo, deve-se ressaltar que os dados utilizados teriam duas fontes diferentes, possivelmente sob a administração de duas organizações também distintas.

O contexto das atividades militares compreende essa necessidade de agregar dados e inferir sobre os mesmos, dados oriundos também de agências meteorológicas entre outras. Ou seja, o contexto de uma Força Aérea engloba fontes diferentes, bem como variados tipos de dados.

B. A questão em um ambiente de Força Aérea

A ampliação da gama de aparelhos de medição e dos tipos de dados foi ilustrada, em 1999, pela expressão: “*In the next century, planet earth will don an electronic skin.*” [2] e [3].

Isso representa uma visão de futuro que traça uma analogia entre a pele, enquanto órgão repleto de sensores capazes de produzir variados tipos de “medições” e gerar sinais para alerta ou controle das funções corporais, e a crescente quantidade de sensores distribuídos pela Terra, recobrando-a como uma “pele” e com funções análogas de medição e apoio ao controle.

Sob essa visão de crescente disponibilidade, percebe-se a dificuldade de se aproveitar todas as medições. Os diferentes

formatos e definições levam a um tratamento dos dados “manual” e, portanto, lento.

Essa situação pode causar efeitos indesejados como uma situação comum em que “informações potencialmente relevantes permanecem inexploradas e o foco dos tomadores de decisão termina por se prender à integração de dados de baixo nível no lugar do tratamento e raciocínio de alto nível sobre a situação militar” [4].

A importância desse fato se deve à possibilidade de que uma situação de vantagem numérica e tecnológica, frente a um oponente menos provido, pode não ensejar a vitória de uma Força Aérea, se a capacidade de tratar as informações, ou de identificar a situação militar, não permitir a adequada condução das ações.

Essa consideração representa mais uma faceta do assunto. Isto é, a necessidade de aprimorar o tratamento dos dados e a possibilidade de realizá-lo utilizando novos métodos e técnicas, independem da aquisição de novas plataformas, sensores, processadores ou redes. Em resumo, não se deve esperar a aquisição de novos equipamentos e desperdiçar possibilidades de aprimoramento dos atuais em qualquer tempo.

Dessa forma, um problema de pesquisa envolveria dotar a Força Aérea, desde o tempo de paz, de um sistema de acesso e tratamento dos dados que propicie automatismo de recuperação e inferência sobre os mesmos. Uma tarefa ampla com a finalidade de liberar os operadores e tomadores de decisão para análises de alto nível, otimizando a aplicação dos recursos disponíveis nas situações que apresentem maior relevância para a consecução dos objetivos definidos.

O escopo deste artigo restringe-se a chamar a atenção dos militares para a possibilidade dos serviços semânticos aprimorarem a condução de uma Força Aérea, bem como chamar a atenção dos pesquisadores interessados para a aplicabilidade de um pacote de componentes de software capaz de propiciar a formulação de serviços semânticos para diferentes tipos de fontes de dados distribuídas. Ambos com a finalidade de aprimorar a capacidade de formular sua consciência situacional e evitar o desperdício de recursos de qualquer tipo.

Este artigo tem por objetivo divulgar a seguinte **hipótese central de estudo**: “métodos e técnicas próprias da Web Semântica, especialmente os Serviços Semânticos, podem contribuir para aprimorar o acesso aos dados disponíveis nos sistemas já existentes e, assim, melhorar os conhecimentos produzidos para apoio às tomadas de decisão”.

Para esclarecer os detalhes dessa hipótese, as Seções II e III apresentam informações sobre redes semânticas de sensores em geral e considerações sobre tipos de dados ou fontes com as quais uma Força Aérea poderia utilizar serviços semânticos. Segue-se então a proposta de utilizar serviços semânticos e suas possíveis vantagens para, finalmente, sugerir-se como iniciar a experimentação da proposta.

II. SEMÂNTICA E REDE SEMÂNTICA DE SENSORES

Apenas a definição de que o provimento de significado, ou de semântica, se faz pela inserção de anotação no código dos dados, pode não alcançar a compreensão desejada.

Por isso, na Fig 1, ilustra-se o registro de uma observação (1834z2009072233GAV) anotada como “infantaria

mecanizada” (inf_mec), do país “Pais_J” e na posição “Campo Elisio”.

```

...
<inf_mec rdf:about="#1834z 2009072233GAV">
  <rdf:type rdf:resource="#owl:Thing"/>
  <posicao rdf:resource="#Campo_Elisio"/>
  <nacionalidade rdf:resource="#Pais_J"/>
</inf_mec>

<owl:Thing rdf:about="#Campo_Elisio">
  <nacionalidade rdf:resource="#Pais_N"/>
</owl:Thing>

<owl:Thing rdf:about="#Pais_J">
  <rdf:type rdf:resource="#nac_oponente"/>
</owl:Thing>

<owl:Thing rdf:about="#Pais_N">
  <rdf:type rdf:resource="#nac_neutra"/>
</owl:Thing>
</rdf:RDF>

```

Fig. 1. Exemplo de trechos de código com anotação.

O exemplo, assim elaborado, permitiria realizar “perguntas” do tipo “qual tipo de tropa foi observada em Campo Elisio”, mas também, com adequadas definições de regras ou relações entre classes, permitiria que a própria máquina produzisse uma inferência como:

- “Campo_Elisio” nacionalidade “Pais_N”; e
- “Pais_N” é nação neutra (“nac_neutra”); e
- “Pais_J” é nação oponente (“nac_oponente”); e
- “inf_mec” nacionalidade “Pais_J”; e
- “inf_mec” posição “Campo_Elisio” ->
- então -> “Pais_J” invadiu “Pais_N” ou
- “Pais_N” agora é nação oponente.

A. Ontologias

Denomina-se ontologia o conjunto de especificações desses termos e os relacionamentos utilizados para a descrição e a representação de uma área do conhecimento [5].

O exemplo anterior, utilizando a linguagem OWL (*Ontology Markup Language*) e RDF (*Resource Description Framework*), foi retirado de uma ontologia e, continuando o esclarecimento do termo, observa-se uma característica de interesse, qual seja, quando alterada a visão sobre uma das entidades, como sobre o “Pais_N”, as inferências continuariam “funcionando”.

De forma semelhante, a definição de relações entre classes de diferentes ontologias pode facilitar concatenar dados obtidos de fontes ou áreas de conhecimento diversas, sem necessidade de alteração sobre a forma como são coletados ou armazenados, por suas respectivas redes de sensores.

B. Rede Semântica de Sensores

O *Open Geospatial Consortium* (OGC) é um consórcio internacional de organizações acadêmicas, governamentais e da indústria que define uma *Sensor Web* como uma rede de sensores, com seus respectivos dados armazenados, acessada via Web, que pode ser descoberta e utilizada pelo emprego de protocolos padronizados e interfaces de aplicativos [2].

O *Sensor Web Enablement* (SWE), estabelecido pelo OGC, visa definir os pacotes de especificações necessários para que sensores, modelos de dados de sensores e *Web Services* possam ser acessados e controlados via Web. Os pontos principais desses pacotes são resumidos na Tabela I.

TABELA I ESPECIFICAÇÕES DE LINGUAGENS E SERVIÇOS - SENSOR WEB [2]

Especificação	Descrição
<i>Observations and Measurements</i> (O&M)	Codificação de observações de medidas dos sensores.
<i>Sensor Model Language</i> (SML)	Descrição de sistemas de sensores e seus processos (descobrir e localizar sensores, suas medições e propriedades de trabalho).
<i>Transducer Model Language</i> (TML)	Descrição de transdutores e carregamento de dados em tempo real.
<i>Sensor Observation Service</i> (SOS)	Padronização de interface de <i>Web Service</i> para solicitar, filtrar e recuperar medições e informações do sistema de sensores. (intermediário entre o usuário e o repositório do sistema de sensores ou seu canal de coleta).
<i>Sensor Planning Service</i> (SPS)	Padronização de interface de <i>Web Service</i> para inscrição de medições definidas pelo usuário. (intermediário entre o usuário e o ambiente de “comando” de coleta da rede de sensores).
<i>Sensor Alert Service</i> (SAS)	Padronização de interface de <i>Web Service</i> para inscrição de usuários e difusão de alertas de sensores.
<i>Web Notification Services</i> (WNS)	Padronização de interface de <i>Web Service</i> para divulgação assíncrona de mensagens ou alertas do SPS e do SAS.

A inserção de anotação, já comentada, nos códigos dos dados e métodos das camadas da rede, bem como a formulação das ontologias sobre os sensores, os dados e sua área de conhecimento, configuram, em resumo, a *Semantic Sensor Web* (SSW).

Dentre as vantagens desse tipo de rede, encontram-se diferentes referências especialmente à capacidade de ser sensível ao contexto geográfico e temporal em que os dados foram coletados [2].

Sob o foco deste artigo, ressalta-se o objetivo principal em usar redes semânticas: incrementar a capacidade de comunicação de máquina para máquina [5]. Esta capacidade inclui as possibilidades de inferências com fontes distintas e a maior facilidade de descoberta das redes ou dos seus serviços.

Essa “descoberta” é entendida como o processo em que um usuário ou seu agente de software encontra, na Web, a descrição de uma rede e de sua forma de operação, ou dos serviços disponíveis sobre seus dados.

III. REDES DE SENSORES EM ORGANIZAÇÕES

A gama de possibilidades corresponde à variedade de pesquisas, considerando estruturas, *frameworks*, interfaces, agentes e aplicativos em geral a serem utilizados na implantação de redes semânticas de sensores [4]-[7].

Já como característica comum, seus autores apontam que os usuários esperam dispor de seqüências de dados representativos da evolução dos sistemas observados, relatórios periódicos sobre os mesmos ou alertas de condições específicas.

Essas redes, de forma simplificada, envolvem os sensores de coleta, um repositório dos dados, um controlador dos sensores e uma interface para interação com o operador ou usuário, conforme ilustrado na Fig. 2.

Observa-se que a abstração da rede não a restringe a dispositivos eletrônicos de medição e coleta. Assim, em um ambiente de organizações amplas, como uma Força Aérea, podem ser encontradas diversas redes de sensores de variados tipos.

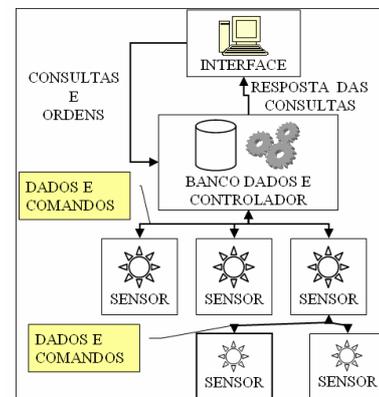


Fig. 2. Rede de Sensores – estrutura simplificada.

À parte dos medidores meteorológicos, que natural e imediatamente vêm à mente, tratando-se de aviação, inclui-se o equipamento básico de controle do espaço aéreo, o radar.

No entanto, não se deve desprezar a relevância de outras fontes como os instrumentos a bordo das aeronaves e seus sistemas *data-link*, e também as próprias pessoas, executando seus serviços diários com conferência, alocação e consumo de recursos materiais ou humanos, cujas atividades e observações são reportadas em livros ou sistemas informatizados de controle das Unidades.

Nessa perspectiva, percebem-se as dificuldades de tratamento impostas pelo volume de dados disponíveis, sua diversidade de formas de armazenamento e de difusão e pela complexidade de implementação de formas dos variados usuários poderem comandar coletas aos sensores.

Identifica-se então a aplicabilidade dos “serviços” SOS, SAS, SPS e WNS, descritos na Tabela 1, para manter as estruturas dos sistemas já existentes e, ao mesmo tempo, facilitar seu aproveitamento.

Breitman [8] utiliza, entre outras, uma definição da IBM para esclarecer o significado de *Web Services*, os quais se tratam de aplicativos de software, com endereços na Web, “...autodescritivos, (...) publicados, localizados e chamados através da rede. Os *Web Services* realizam funções que vão das mais simples até processos de negócio complexos. Uma vez tornado público, outras aplicações (ou *Web Services*) podem ‘descobrir’ e fazer uso do mesmo” [8].

Uma página na web onde o usuário ou seu agente entra com uma posição (“Campo Elísio” no exemplo inicial) e recebe as tropas observadas na posição, caracteriza um exemplo de função e de serviço simples.

O interesse nesse tipo de aplicativo se deve a sua possibilidade de interoperabilidade, pois, baseado em troca de mensagens em formato específico, conta com independência da localidade e da plataforma onde está instalado, bem como independência da linguagem do software utilizado por seu cliente.

IV. PROPOSTA DE FORMULAÇÃO DE SERVIÇOS SEMÂNTICOS

Esta proposta se caracteriza por definir serviços com anotações semânticas, que possam ser consumidos por usuários para tomada de decisão em uma Força Aérea. A expressão “consumir serviço” é encontrada na literatura com o sentido de “utilização” de um *Web Service* (WS).

Além de referência a sistema em desenvolvimento para apoio a operações navais [4], na pesquisa bibliográfica, com escopo na base de dados da IEEE dos últimos cinco anos, identificou-se um artigo fortemente relacionado com o tema: “*Knowledge-Based Information Fusion for Improved Situational Awareness*” [9].

Seus autores relatam o desenvolvimento de um sistema denominado *Technical Demonstrator System* (TDS), o qual integra vários serviços semânticos. Esse sistema mostra-se amplo, por abranger todos os tipos de dados considerados necessários pelo grupo, e completo, ao incorporar um ciclo desde a coleta e “triagem” (por relevância) dos dados, até sua difusão e visualização.

Dessa forma, reforça-se o objetivo deste artigo de chamar a atenção para a aplicabilidade de serviços semânticos para aprimorar o “consumo” dos dados disponíveis.

Iniciando com as fontes já disponíveis e serviços mesmo que simples, pode-se evoluir para serviços mais complexos, identificando-se e codificando-se as novas regras, as inferências possíveis e as ontologias do domínio.

Assim, esse processo prescinde da aquisição de novas plataformas ou equipamentos e pode ser iniciado sem alterações na estrutura atual dos sistemas em uso. Conforme ilustrado na Fig. 3, a diferença seria apenas que o usuário, ou seu software agente, teria sua interação com a fonte de dados por meio de um serviço “sobre” a interface original.

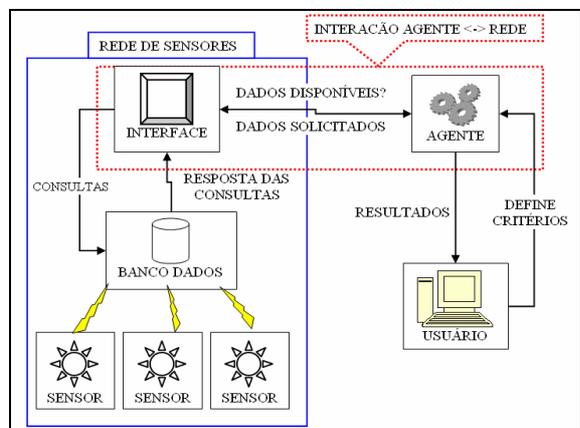


Fig. 3. Rede de Sensores – interface com *Web Services*.

A idéia apenas agrega mais um elemento de software quando se observa uma fonte isolada. No entanto, a Fig. 4 ilustra a formação praticamente de uma “camada de serviços”, com a qual o cliente pode consumi-los todos em um único ambiente.

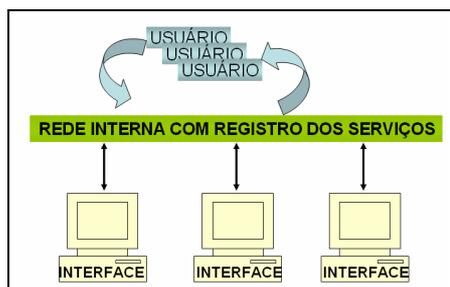


Fig. 4. Acesso dos Usuários às Redes de Sensores Consumindo Serviços.

Uma situação desejada de evolução será obtida quando um serviço for capaz de consumir outros, retornando um resultado da interação de vários dados, conforme suas regras e ontologias previamente criadas.

V. CONJUNTO DE SOFTWARE EM TRABALHOS FUTUROS

Uma forma de implementação deste conceito envolve o desenvolvimento de um conjunto de software e protocolos para o estabelecimento de um *Web Service* “sintático”, o qual, quando convertido para a linguagem OWL-S (*Semantic Markup for Web Services*) e elaboradas as ontologias do domínio e do serviço, passaria a ser um serviço semântico.

A. Início da formulação de um serviço

O conjunto de software e protocolos iniciais envolve [8]:

- 1) A descrição WSDL – *Web Service Description Language* – definição de como o WS atende às chamadas;
- 2) O registro UDDI – *Universal Description Discovery and Integration* – a pesquisa do usuário leva-o a esse registro e nele “descobre” **o que** o *Web Service* pode fornecer e **como** receber o respectivo WSDL; e
- 3) Protocolo SOAP - *Simple Object Access Protocol* - protocolo para troca de informações.

O seu funcionamento encontra-se ilustrado na Fig. 5.

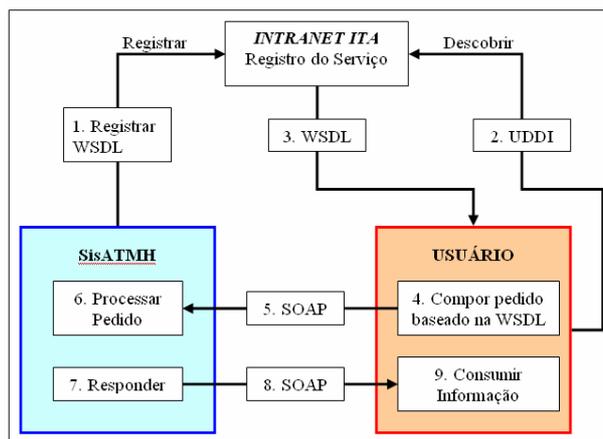


Fig. 5. Formulação de um primeiro serviço. Fig. adaptada [8].

A Fig. 5 ilustra também uma proposta de trabalho futuro: iniciar a implementação de um *Web Service* em um banco de dados desenvolvido em atividades acadêmicas, dessa forma, conhecido, acessível e disponível para manipulação, qual seja, o Sistema de Aquisição, Tratamento, Monitoramento e Difusão de Dados Hidrológicos (SisATMH) [10].

Trata-se de um sistema de banco de dados dedicado ao armazenamento e à recuperação dos dados enviados por plataformas de coleta de dados (PCD), com diferentes instrumentos, voltadas para a observação de medidas ambientais hidrológicas na Região Amazônica.

B. Ontologias para um serviço semântico

Uma forma de definição de significado aos processos do serviço e seus dados, se dá pela conversão do código do serviço anterior para a linguagem OWL-S e a elaboração das ontologias que descrevem seus processos e dados, quais sejam [8], [11] e [12]:

- 1) Perfil de Serviço – entradas, saídas, condições e o que o serviço faz;
- 2) Modelo de Serviço – como o serviço funciona; e
- 3) Base – como acessar o serviço e seu protocolo de comunicação.

Todas essas ontologias anteriormente citadas reunidas por relações com uma ontologia superior descritora do serviço encontram-se reunidas conforme ilustrado na Fig. 6 [12] e [13].

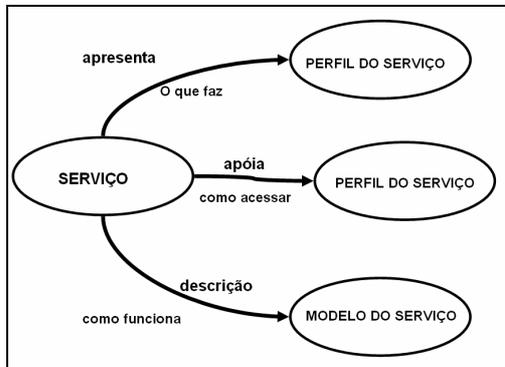


Fig. 6. Ilustração das Ontologias do Serviço Semântico. Fig. adaptada [13].

Neste ponto, o serviço deve estar descrito de forma a poder ser interpretado por outros computadores. Estado em que, a experiência de selecionar os softwares e montar ambiente computacional adequado para que os serviços funcionem corretamente deve permitir que os trabalhos seguintes possam ser iniciados sobre fontes reais e não mais sobre modelos acadêmicos.

Tanto com as fontes simuladas quanto com as reais caberá verificar a possibilidade de alterações na ontologia de descrição de domínio e as conseqüentes alterações nos resultados de inferências, bem como a definição de métricas que permitam avaliar as diferenças entre o cenário montado com e sem o uso dos serviços para reunir os dados e informações.

VI. CONCLUSÃO

A avaliação com métricas adequadas poderá encerrar a verificação da **hipótese de que métodos e técnicas próprias da Web Semântica, especialmente os Serviços Semânticos, podem contribuir para aprimorar o acesso aos dados disponíveis nos sistemas já existentes e, assim, melhorar os conhecimentos produzidos para apoio às tomadas de decisão.**

Para a descrição desta hipótese, exemplificou-se um ambiente de aplicação de redes semânticas de sensores e apresentou-se a sua relevância nas condições em que se faz necessário liberar decisores de alto nível da atividade de tratamento de dados de baixo nível, bem como a importância de uma consciência situacional adequada para otimizar o emprego dos recursos humanos e materiais.

Em seguida, foram introduzidos os termos: semântica, ontologias e redes semântica de sensores, com destaque para as suas características de permitirem inferências automatizadas sobre os dados disponíveis, mesmo sendo de tipos e de fontes distintas, característica desejável para o contexto.

A seguir, alertou-se para as diferentes fontes disponíveis em organizações como uma Força Aérea e apresentou-se o

conceito de serviço web, ressaltando-se a praticidade desses aplicativos terem independência de local, de plataforma e de linguagem utilizada pelos aplicativos de seus clientes.

A partir dessa base, apresentou-se a proposta de utilizar serviços semânticos para o acessar várias fontes já existentes, a fim de aprimorar a consulta aos dados já disponíveis. Bem como referenciou-se uma publicação anterior fortemente relacionada ao assunto [9].

Finalmente, foram descritos os conjuntos de software abordados na bibliografia corrente, necessários para iniciar a operação dos serviços semânticos.

Dessa forma, a hipótese de aplicabilidade de serviços semânticos para o aprimoramento do uso dos dados disponíveis foi apresentada em maiores detalhes.

Observa-se, de maneira geral, as vantagens de independência do meio que esses serviços trazem em seu conceito e recomenda-se a execução, no futuro, de sua implementação, permitindo-se a verificação de suas vantagens com métricas adequadas.

REFERÊNCIAS

- [1] W3C Semantic Sensor Network Incubator Group Charter Website. Disponível em: <<http://www.w3.org/2005/Incubator/ssn/charter>>. Acesso em: 11/03/2009.
- [2] A. Sheth, C. Henson, S. S. Sahoo, "Semantic Sensor Web", IEEE Internet Computing, July/August 2008. Disponível em: <<http://www.computer.org/internet/>>. Acesso em: 11/03/2009.
- [3] N. Gross, "The Earth Will Don an Electronic Skin," BusinessWeek, Aug. 1999. Disponível em: <http://www.businessweek.com/1999/99_35/b3644024.htm>. Acesso em: 21/06/2009.
- [4] P. C. G. Costa, K. B. Laskey, K. C. Chang, "Prognos: Applying Probabilistic Ontologies To Distributed Predictive Situation Assessment In Naval Operations", in Proc. 14th ICCRTS, 2009. [108] - http://www.dodccrp.org/events/14th_icrts_2009/best_paper_noms.html
- [5] V. Huang, M. K. Javed, "Semantic Sensor Information Description and Processing", in Proc. 2nd SENSORCOMM, 2008, p. 456, DOI 10.1109/SENSORCOMM.2008.23 - <http://ieeexplore.ieee.org/>.
- [6] Yi Xiao, M. Xiao, Fan Zhang, "Agents-based Intelligent Retrieval Framework for the Semantic Web", in Proc. WiCom 2007. International Conference, 2007, pp. 5357 - 5360 DOI 10.1109/WICOM.2007.1312 - <http://ieeexplore.ieee.org/>.
- [7] Alec Woo, Sam Madden, R. Govindan, "Networking support for query processing in sensor networks", Communications of the ACM., vol. 47, issue 6 pp. 47-52, Jun. 2004.
- [8] K. K. Breitman. "Web Semântica: a internet do futuro", Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- [9] P.R. Smart, et al. "Knowledge-Based Information Fusion for Improved Situational Awareness", in Proc. 7th International Conference on Information Fusion - FUSION 2005, p. 1017- <http://ieeexplore.ieee.org/>.
- [10] A. M. Cunha, "Temas do Projeto SisATMH" e "Escolha de Banco de Dados". Notas da Aula 03 - curso "CE-240 Projeto de Sistemas de Bancos de Dados" 2009. ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Disponível em: <<http://www.comp.ita.br/~cunha>>. Arquivos Aula03.1j Ce240-Ce24509(TemasPrjSisATMH09)V2.4.pdf e Aula03.1a Ce24009m (EscolhaDosHDB-CDBs-SDBs-ADB).pdf. Acesso em: 21/06/2009.
- [11] G. Antomiu, F. Harmelen, "A Semantic Web Primer", 2ed. Estados Unidos da América: MIT - Massachusetts Institute of Technology, 2008.
- [12] F. Álvares, J.M.P. Oliveira, "Semantic Web Services". Notas da Aula 13 - curso "CE-262 - Ontology and Semantic Web" 2009. ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Disponível em: <https://tidia.ita.br/access/content/group/CE_262_09_1>. Arquivo Lectures/Lecture13/ SWS.pdf. Acesso em: 23/07/2009.
- [13] D. Martin, et al. "OWL-S: Semantic Markup for Web Services". Disponível: <<http://www.ai.sri.com/dam/services/owl-s/1.2/overview/>>. Acesso em: 23/06/2009.