

## **Desenvolvimento de aplicações em geoprocessamento usando composição automatizada de serviços geográficos**

Sérgio Aparecido Braga da Cruz <sup>1,2</sup>  
Antonio Miguel Vieira Monteiro <sup>2</sup>  
Rafael Santos <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Informática Agropecuária - CNPTIA  
Av. André Toselo, 209 - Caixa Postal 6041  
13083-886 - Campinas, SP, Brasil  
sergio@cnptia.embrapa.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515  
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil  
miguel@dpi.inpe.br,rafael.santos@lac.inpe.br

**Resumo.** Este trabalho apresenta uma abordagem para construção de aplicações em geoprocessamento através da composição automatizada de Web Services geográficos. O problema de composição é modelado como um problema de planejamento condicional onde, regras semânticas de requisitos de qualidade de geodados são utilizadas como uma indicação de condições de uso de um dado por uma funcionalidade de geoprocessamento. Esta abordagem permite a criação de composições de serviços mais robustas, confiáveis e capazes de produzir geodados de melhor qualidade.

**Palavras-chave:** *Web Services* geográficos, geoprocessamento, qualidade de geodado, planejamento condicional.

**Abstract.** This paper presents an approach to developing geoprocessing applications through automated building of geographic Web Services compositions. The composition problem is modeled as a conditional planning problem, where geodata quality requirement rules indicate the geodata use conditions by a geoprocessing functionality. This approach produces more robust and reliable service compositions, capable to generate better quality geodata.

**Key-words:** geographic Web Services, geoprocessing, geodata quality, conditional planning.

## 1. Introdução

Aplicações em geoprocessamento são geralmente multidisciplinares e requerem a participação de diferentes instituições envolvidas nas diferentes atividades de produção de um geodado, ora como produtoras, ora como consumidoras destes. Esta interação entre as instituições define um processo cuja meta é a realização dos objetivos da aplicação.

A arquitetura SOA (*Service Oriented Architecture*) (Erl, 2004) representa uma alternativa para automação da execução destas atividades. SOA é uma arquitetura de computação distribuída, onde funcionalidades de alto-nível são implementadas por componentes de *software* distribuídos, denominados serviços, interligados por um protocolo de comunicação. A tecnologia de *Web Services* ou serviços *Web* permite a implementação destes serviços utilizando padrões e protocolos da *Web*. No contexto de geoprocessamento, os serviços possibilitam o acesso padronizado e controlado aos geodados e aos procedimentos de geoprocessamento e análise espacial, independentemente de sua localização geográfica e do ambiente computacional da instituição proprietária. Estes serviços podem ser combinados de modo a implementar uma funcionalidade agregada, que neste caso define uma aplicação em geoprocessamento. Linguagens de especificação de serviços, como por exemplo, a linguagem WS-BPEL (Oasis, 2010), permitem a definição manual destes serviços compostos. Porém, à medida que o número de serviços componentes disponíveis se torna maior, mais difícil se torna o processo de construção manual destas composições. As atividades de localização, seleção e integração dos serviços componentes se tornam mais complexas.

Métodos de planejamento em IA (Inteligência Artificial) são utilizados por algumas linhas de pesquisa que visam automatizar este processo de composição (Rao & Su, 2005). Sycara *et al.* (2003) apresentam as bases para utilização de descrições semânticas de serviços para seleção, invocação e gerenciamento da interação com serviços. A caracterização semântica da funcionalidade dos serviços é realizada explicitamente associando-o a conceitos de uma taxonomia de funcionalidades de serviços. Uma descrição implícita é realizada a partir da descrição semântica dos tipos dos parâmetros de entrada e saída dos serviços, juntamente com a descrição de suas pré-condições de uso e dos efeitos de sua execução. Uma abordagem para composição automatizada e interativa de serviços é apresentada por Sirin (2004), onde o usuário seleciona os serviços mais adequados a cada passo da composição. As opções de serviços apresentadas ao usuário são geradas com base na necessidade de satisfação das dependências de tipos de dados da composição e em uma taxonomia de funcionalidades. Várias propostas derivadas destes dois trabalhos apresentam diferentes variações para descrição implícita da capacidade funcional de serviços (Ye & Chen, 2006; Constantinescu *et al.*, 2007; Dong *et al.*, 2006; Ko *et al.*, 2008; Chafle *et al.*, 2007). Lemmens *et al.* (2006) e Yue *et al.* (2007) apresentam adaptações destas abordagens de composição para o contexto de geoprocessamento.

Nestas soluções baseadas em planejamento, descrições semânticas dos serviços são utilizadas para descrever a capacidade funcional de cada serviço, indicando a sua utilidade

como componente de uma composição. Contudo, estas descrições com foco no serviço não modelam adequadamente aspectos da interação entre os serviços que ocorrem durante a execução de uma composição. Condições individuais dos geodados, encontradas durante o tempo de execução, podem inviabilizar ou comprometer os resultados produzidos por procedimentos de geoprocessamento e análise espacial. Geodados com valores atípicos, distribuição espacial aleatória, e imagens de sensoriamento com nuvens são exemplos de dados inadequados. Estas condições podem ser inerentes ao processo de produção do geodado. Porém, a construção de novas composições de serviços define, dinamicamente, contextos não previstos de uso de um geodado e também propiciam o surgimento destas incompatibilidades. A execução de composições de serviços construídas sem considerar a possibilidade de ocorrência destas incompatibilidades pode gerar dados incorretos e de baixa qualidade.

O presente trabalho apresenta uma abordagem para construção automatizada de composições de *Web Services* geográficos, capazes de tratar estas incompatibilidades. Composições mais robustas, capazes de produzir geodados de melhor qualidade, são obtidas por meio do refinamento da descrição semântica de geodados trocados entre os serviços. Este refinamento na descrição dos tipos de geodados considera os seus aspectos estáticos e dinâmicos. O ponto de vista estático, corresponde a modelagem semântica dos tipos de geodados utilizados em análise espacial e geoprocessamento. O ponto de vista dinâmico, considera a definição de atributos de qualidade de geodados para caracterização das instâncias de geodados trocados entre os serviços durante a execução da composição. Estes atributos permitem a construção de regras para descrição semântica de requisitos de qualidade de dados, as quais devem ser respeitadas para que ocorra a execução bem sucedida do serviço composto. Estes refinamentos nas descrições dos dados, associadas a algoritmos de planejamento em IA para composição automatizada de serviços permitem que sejam gerados serviços compostos mais confiáveis, capazes de identificar e contornar não-conformidades na qualidade dos dados trocados entre os serviços da composição.

## 2. Objetivo

Estetrabalhoapresentaumaabordagemparaconstrução deaplicações emgeoprocessamento na arquitetura SOA a partir da composição automatizada de serviços geográficos. Esta composição automatizada é baseada em algoritmos de planejamento de IA e em regras para descrição de qualidade de geodados. Estas composições podem ser armazenadas de modo a incrementar uma base de conhecimento sobre aplicações em geoprocessamento.

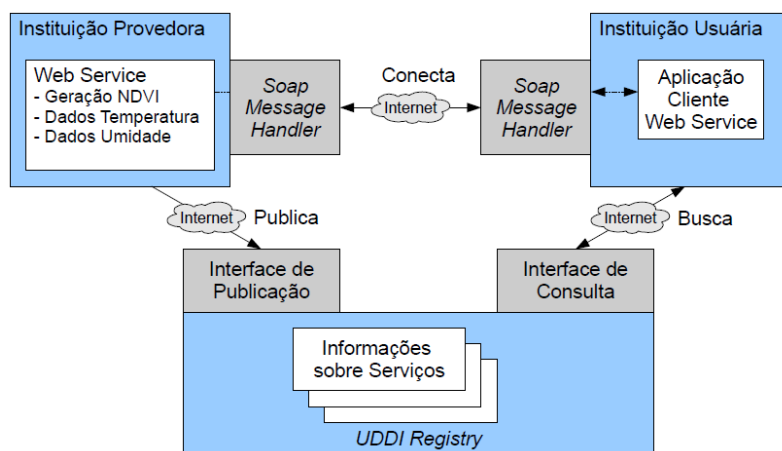
## 3. Material e Métodos

### 3.1 *Web Services* Geográficos

Funcionalidades de geoprocessamento podem ser implementadas sobre a forma de serviços na *Web* de acordo com dois padrões principais. O consórcio W3C (*World Wide Web Consortium*) define um *Web Service* como um *software* projetado para suportar interação direta entre máquinas distribuídas e interligadas por um sistema de comunicação (W3C, 2010). A descrição do comportamento deste *software* é realizada por meio da descrição de sua interface, ou seja, em termos de operações disponíveis, tipos de parâmetros de entrada e saída destas operações e protocolos de acesso. A linguagem WSDL (*Web Service Description Language*) é utilizada na elaboração de documentos de descrição dos serviços

(W3C, 2010a). O processamento automático de um documento em WSDL produz código fonte com capacidade de tratamento sintático das mensagens de um serviço. A interação com um serviço é realizada por meio de troca de mensagens, normalmente no formato SOAP (W3C, 2010b). A interação através de mensagens esconde os detalhes internos de um serviço, permitindo que ele seja usado de maneira independente da plataforma de *software* ou hardware em que tenha sido implementado.

Na arquitetura de *Web Services* definida pela W3C (**Figura 1**), instituições provedoras implementam e fornecem acesso a um conjunto de funcionalidades de alto nível através de *Web Services*. Estas instituições podem opcionalmente registrar informações sobre estes serviços em catálogos UDDI (W3C, 2010). Estes catálogos facilitam a busca por serviços disponíveis pelas instituições usuárias. Através das informações do catálogo UDDI e da descrição do comportamento de um serviço em WSDL uma aplicação cliente pode interagir adequadamente com um *Web Service*.



**Figura 1.** Elementos da arquitetura de *Web Services* padrão W3C.

O consórcio OGC (*Open Geospatial Consortium*), organização responsável por definir e promover o uso de padrões geoespaciais, especificou um modelo de computação distribuída baseado na *Web* com o objetivo de tornar seu uso mais eficiente em aplicações sobre dados georreferenciados (Percivall, 2003). Esta especificação descreve uma série de serviços padrões de geoprocessamento. Além dos serviços, a OGC especifica uma série de formatos de dados e protocolos que facilitam o intercâmbio de geodados. Os serviços WMS (*Web Map Service*), WFS (*Web Feature Service*), WCS (*Web Coverage Service*) e WPS (*Web Processing Service*) são especificações de serviços importantes definidas pelo OGC. WMS é um serviço para apresentação de dados, utilizado para geração de mapas com características gráficas personalizáveis. WCS e WFS são serviços de acesso a geodados matriciais e vetoriais, respectivamente. WPS é uma interface geral para acesso a funcionalidades de geoprocessamento.

Os padrões de serviços definidos pelo OGC são mais específicos e complexos que os definidos pela W3C. A proposta da W3C, possui maior suporte da indústria de TI e, conseqüentemente um maior número de soluções e tecnologias agregadas. Por outro lado, a padronização de formatos para intercâmbio de dados permite uma maior interoperabilidade sintática no uso dos geodados. Um esforço de unificação destas duas propostas têm sido desenvolvido em conjunto pela W3C e OGC (W3C, 2010c). Este trabalho assume que os serviços possuem uma interface descrita em WSDL.

### 3.2 Composição Automatizada de Serviços Geográficos

Neste trabalho uma aplicação em geoprocessamento é gerada automaticamente a partir da composição de serviços geográficos. Esta composição automatizada é suportada por um mecanismo de composição baseado no método de IA para planejamento condicional em ambiente completamente observável (Russel & Norvig , 2003).

Um problema de planejamento pode ser descrito como uma tupla  $\langle E, E_i, E_f, A, \square \rangle$ , onde  $E$  é um conjunto de estados possíveis,  $E_i \subseteq E$  é um conjunto de estados iniciais,  $E_f \subseteq E$  é o conjunto de estados meta,  $A$  é um conjunto de ações, e  $\square: E \times A \rightarrow E$  é uma função de transição. Um procedimento de resolução do problema de planejamento gera um plano de execução de ações que realiza a transformação de um estado  $E_i$  para um estado  $E_f$  desejado. O planejamento condicional em um ambiente completamente observável considera a possibilidade do resultado de execução de uma ação não ser o esperado. Porém, este resultado pode ser avaliado em tempo de execução do plano. O plano gerado neste caso, inclui uma série de testes para avaliação do resultado de uma ação, para decidir qual passo do plano deverá ser executado em seguida. Em nossa modelagem do problema de composição de serviços usando planejamento condicional, *Web Services* correspondem às ações, e estados correspondem aos tipos de dados de entrada e saída dos serviços. O plano de execução de ações corresponde a uma invocação coordenada dos *Web Services* que gera uma instância do tipo de dado desejado. Os testes de avaliação correspondem a regras de requisitos de qualidade de geodados, as quais devem ser atendidas para uma execução bem sucedida de uma funcionalidade de geoprocessamento. Dado o tipo de geodado a ser gerado pela composição, o procedimento de encadeamento de serviços realiza uma busca e seleção de serviços disponíveis capazes de gerá-lo. Os tipos de entrada dos serviços selecionados definem novos tipos de dados a serem buscados em uma nova interação do procedimento. O procedimento termina quando não existirem mais serviços capazes de atender às requisições de tipos de dados de entrada, ou quando não existirem mais tipos de dados pendentes.

### 3.3 Descrição Semântica de Serviços

A abordagem adotada neste trabalho para construção automatizada de uma composição de serviços assume que os tipos de geodado dos parâmetros de entrada e saída de um serviço indicam de maneira implícita a sua funcionalidade. Complementarmente, parâmetros de qualidade dos geodados indicam as condições gerais de uso de um geodado por um serviço consumidor. Estas duas perspectivas de classificação dos geodados são a base para a modelagem do problema de composição de serviços como um problema de planejamento condicional.

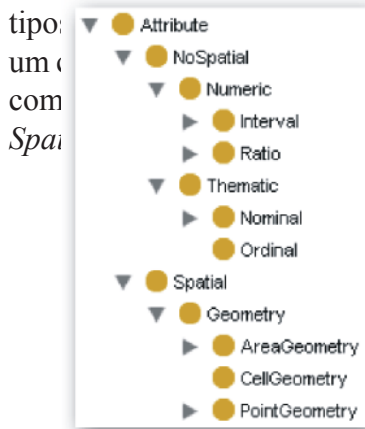
#### 3.3.1 Descrição Semântica de Tipos de Geodados

A construção de uma composição de serviços baseada no casamento de tipos de dados de entrada e saída de serviços é suportada por uma ontologia de tipos de dados. Esta ontologia descreve conceitos associados aos tipos de geodados e seus inter-relacionamentos. A base dos algoritmos de encadeamento de serviços é a avaliação do relacionamento de

subordinação de conceitos nesta ontologia (Paolucci *et al.*, 2002). A descrição semântica dos parâmetros de entrada e saída dos serviços é realizada associando estes parâmetros a conceitos desta ontologia.

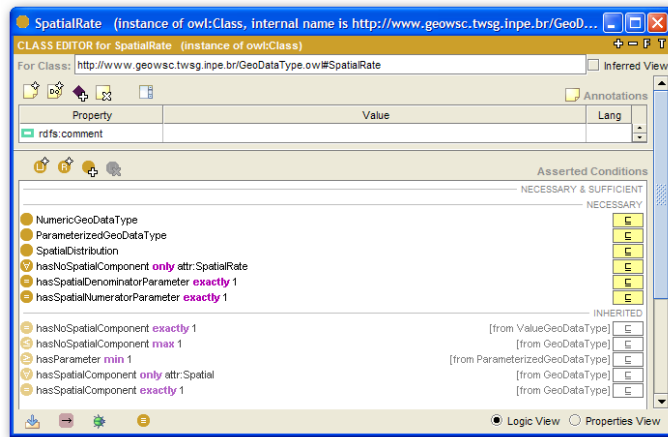
Em nosso caso, assumimos que os tipos de geodados classificam instâncias de geodados formadas por um conjunto homogêneo de entidades apresentando um atributo espacial obrigatório e um atributo não-espacial opcional. Este conjunto define uma camada de informação (Tomlin, 1990), unidade elementar de geodado trocada entre serviços. Os tipos de geodados são parametrizados para permitir a descrição da sua dependência semântica de outros tipos de geodado. Uma ontologia de atributos descreve quais tipos de atributos espaciais e não-espaciais podem ser associados a um plano de informação.

A **Figura 2** ilustra como o tipo de dado espacial *SpatialRate* pode ser descrito em nossa ontologia. Esta descrição é realizada por meio de restrições sobre propriedades gerais de parâmetro com papel de *SpatialDenominatorParameter* e *orParameter*. Estes dois parâmetros devem apresentar uma *Numeric*. A componente não-espacial do tipo de geodado *SpatialRate*, subclasse de *Numeric* (**Figura 2a**).



(a)

o atributo *SpatialRate*, subclasse de *Numeric* (**Figura 2a**).



(b)

**Figura 2.** Descrição semântica de tipos de geodados - (a) ontologia de atributos, (b) tipo de geodado *SpatialRate*.

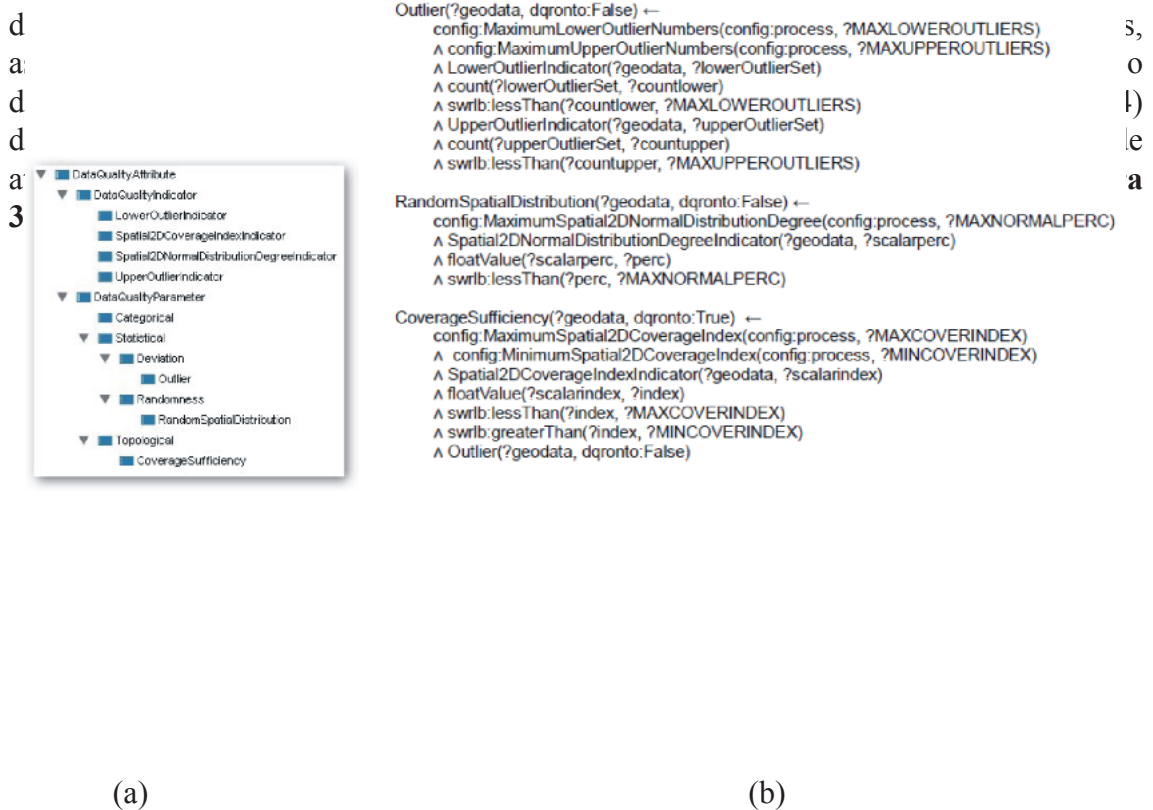
### 3.3.2. Requisitos de Qualidade de Geodados de Web Services Geográficos

O casamento de tipos de parâmetros de entrada e saída dos serviços não permite o encadeamento adequado de serviços que não promovem uma modificação de tipo dos dados. Para contornar esta restrição é necessário distinguir dois tipos de transformação de informação realizados pelos serviços. A primeira transformação corresponde a geração de um novo tipo de dado de saída a partir de um tipo de dado de entrada. O segundo tipo de transformação é realizado quando um serviço altera propriedades de um dado mantendo o seu tipo. Para permitir a inclusão de serviços que executam este segundo tipo de transformação é necessário descrever quando estas transformações são necessárias. Para isto, foram considerados os pré-requisitos para execução confiável de um serviço consumidor de geodados.

A realização confiável de alguns procedimentos em geoprocessamento é dependente de condições de uso do dado. Caso as condições de uso não sejam adequadas, em algumas situações é possível realizar procedimentos para sua adequação. Nós assumimos que estas



condições definem requisitos de qualidade de dados, que podem indicar a necessidade ou não da execução de procedimentos de transformação de propriedades de um geodado. Uma vez que estas necessidades dependem de características individuais de cada instância de geodado, a decisão de execução ou não do serviço de transformação de propriedades somente poderá ser tomada durante a execução do serviço. Na composição, estes serviços são precedidos de testes de conformidade, necessários para avaliar as condições de uso dos dados. Estas condições são expressas em termos de atributos de qualidade de dados. Valores para estes atributos são calculados durante a execução da composição a partir de serviços que implementam procedimentos de análise espacial. Requisitos de qualidade



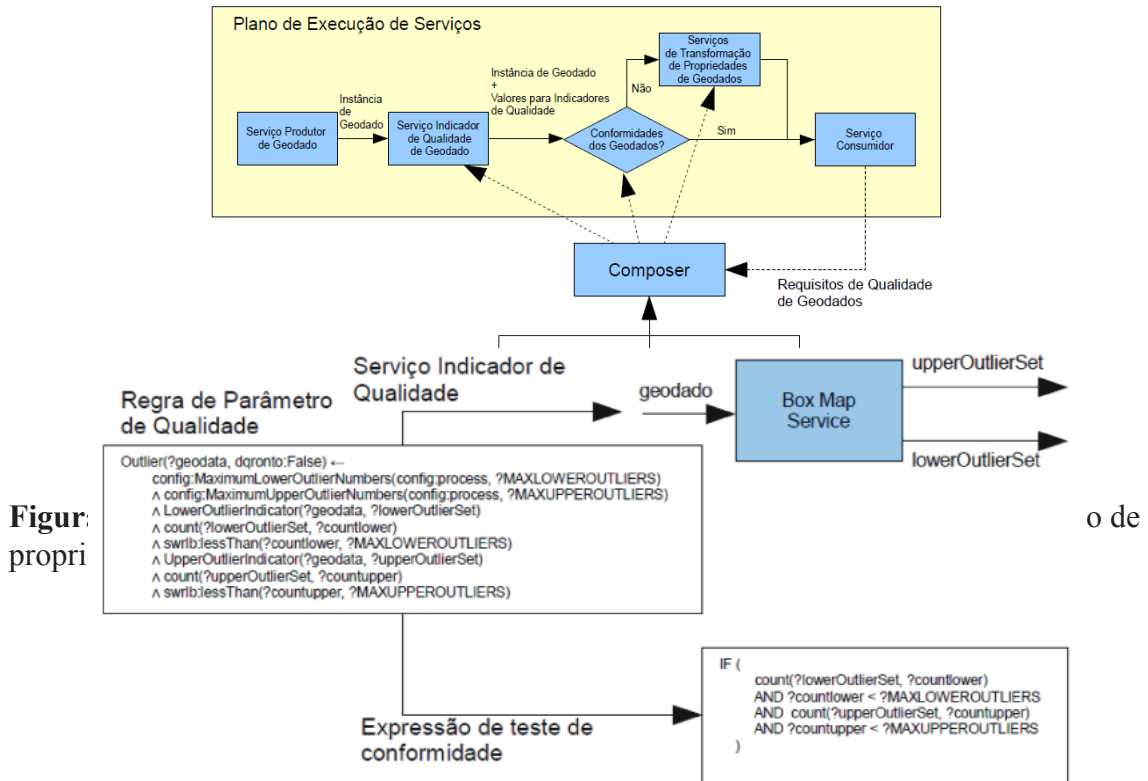
**Figure 3. (a)** Ontologia de atributos de qualidade de geodados **(b)** regras SWRL definindo requisitos de qualidade de dados.

### 3.3.3 Composição de Serviços baseados em Requisitos de Qualidade de GeoDados

A construção automatizada de uma composição de *Web Services* geográficos considerando os serviços de transformação de propriedades de geodados foi modelado como uma problema de planejamento condicional. O atendimento ou não aos requisitos de qualidade de geodados de um serviço consumidor define um conjunto de situações imprevisíveis no geodado gerado pelo serviço produtor, relativa ao atendimento a estes requisitos. Serviços de transformação de propriedades de geodados podem ser invocados baseados na ocorrência destas situações. Neste contexto, estes serviços funcionam como planos de contingência, adequando a instância do geodado às necessidades de um serviço consumidor. Os testes de conformidade funcionam como ações de sensoriamento, utilizadas na avaliação da existência de não-conformidades no geodado. A **Figura 4** ilustra como serviços de transformação de propriedades e serviços indicadores de qualidade são incluídos em uma composição.

O mecanismo de composição prepara planos de contingência formados por serviços

de transformação de propriedades para tratar possíveis ocorrências de não-conformidades. As expressões de teste de conformidade são construídas a partir das regras de parâmetros de qualidade e dos requisitos de qualidade, conforme mostrado na **Figura 5**. Através dos indicadores de qualidade presentes em uma regra, é possível determinar quais serviços indicadores de qualidade deverão ser invocados.



**Figura 5.** Exemplo de inferência de elementos da composição a partir de regra de parâmetro de qualidade de geodado.

### 3.4 Protótipo

Um protótipo do mecanismo de composição de serviços geográficos foi implementado utilizando a linguagem de programação Java e a ferramenta Jena (Jena, 2010) para desenvolvimento de aplicações na *Web* semântica. A base de conhecimento do protótipo é formada por ontologia para tipos de geodados, ontologia de atributos de qualidade de geodados, regras de parâmetros de qualidade e descrição semântica de serviços. As ontologias e regras foram construídas respectivamente nas linguagens OWL (McGuinness & van Harmelen, 2004) e SWRL por meio do editor de ontologias Protégé (Stanford..., 2010). As descrições semânticas dos serviços são expressas na ontologia OWL-S (Martin *et al.*, 2007). O mecanismo de composição gera um processo simplificado em WS-BPEL, a partir da especificação de um tipo de geodado a ser gerado.



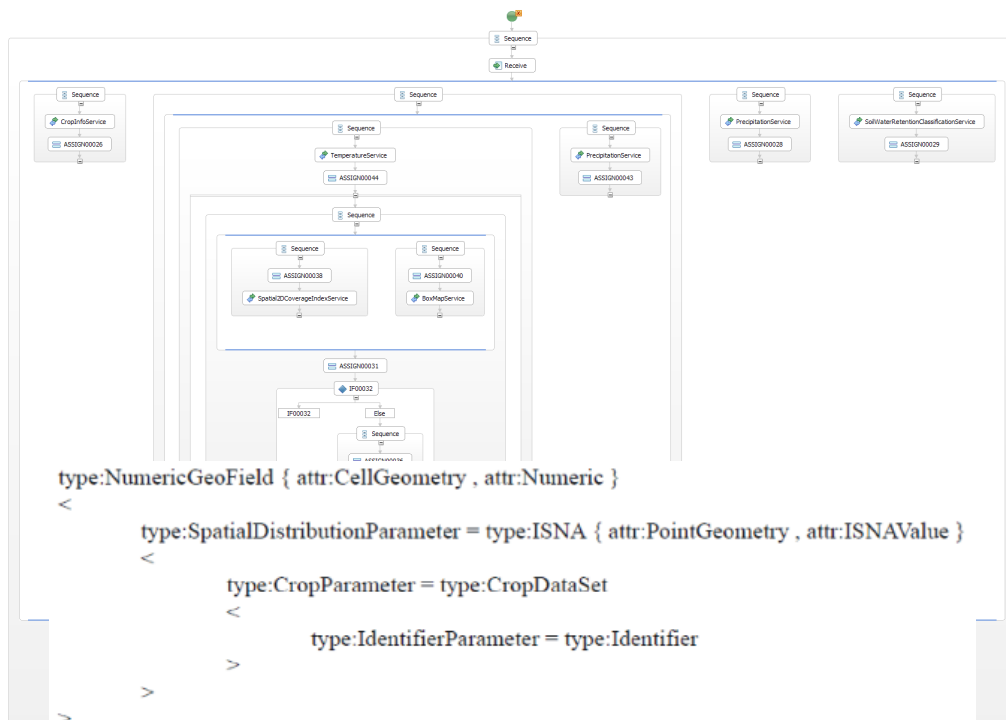
#### 4. Resultados e Discussão

Como estudo de caso foi organizada uma base de conhecimento contendo descrições semânticas dos serviços mostrados na **Tabela 1**.

**Tabela 1.** Serviços disponíveis para composição.

Web Services	Descrição
MapGeneratorService	Espacializa uma distribuição de geodados vetoriais.
ISNAService	Calcula Índice de Satisfação de Necessidade de Água para uma cultura a partir de dados de precipitação, evapotranspiração e classificação de capacidade de retenção de água de solos.
CropInfoService	Fornecer dados sobre uma cultura
EvapotranspirationService	Calcula Evapotranspiração a partir de dados de temperatura, precipitação e período.
PrecipitationService	Fornecer dados sobre precipitação
SoilWaterRetentionClassificationService	Fornecer dados sobre classificação de capacidade de retenção de água de solos.
TemperatureService	Fornecer dados sobre temperatura
Spatial2DCoverageIndexService	Calcula índice de cobertura de um dado vetorial, quanto a sua quantidade e distribuição espacial.
BoxMapService	Classifica conjunto de dados em quartis e valores atípicos ( <i>outliers</i> ).

O esqueleto de um processo na linguagem WS-BPEL apresentado na **Figura 6** foi gerado a partir da especificação de tipo de dado da **Figura 7**.



**Figura 6.** Composição de serviços para geração de mapa de ISNA.

### **Figura 7.** Especificação de meta para composição

A especificação da **Figura 7** indica que se deseja uma composição que produza a espacialização de valores de ISNA (Índice de Satisfação de Necessidade de Água) sobre uma determinada cultura. Os serviços entre barras horizontais paralelas no diagrama apresentado na **Figura 6** indicam execução em paralelo (notação de WS-BPEL da ferramenta Eclipse 3.4).

A modelagem do problema de composição de serviços geográficos de acordo com a abordagem proposta permite a inclusão na composição, de serviços de transformação de propriedades e de serviços para extração de valores de indicadores de qualidade de maneira a tornar o plano de execução de serviços gerado mais robusto. Desta forma, o fluxo de execução de serviços da composição se aproxima da seqüência de atividades realizadas por um especialista em análise espacial. Normalmente estas atividades são realizadas de maneira interativa, com o apoio de ferramentas de geoprocessamento. Porém, a automação do processo de composição de serviços geográficos apresenta como vantagens a possibilidade de reuso de composições anteriormente geradas, de repetição da execução de procedimentos de análise e de sistematização destes procedimentos. O compartilhamento destes procedimentos e a organização de uma base de conhecimento de acordo como a proposta neste trabalho, permitem o compartilhamento e padronização de critérios de análise entre especialistas de um domínio. Porém, para obter um uso efetivo da arquitetura SOA na automação da execução de aplicações de geoprocessamento e análise espacial é necessário que a implementação dos *Web Services* geográficos siga princípios de reuso, modularidade, autonomia e baixo acoplamento preconizados pelo desenvolvimento orientado a serviços (Erl, 2004).

## **5. Conclusões e Sugestões**

Esta proposta representa um passo inicial na utilização de parâmetros de qualidade na composição automatizada de serviços geográficos. A utilização de aspectos de qualidade de geodados relativos a resoluções espaço-temporais e escala de mapas no processo de composição precisam ser avaliados. A descrição das metas e o algoritmo para composição devem ser aperfeiçoados para tratar restrições espaço-temporais. O contexto de aplicação desta proposta assume a definição de uma base compartilhada de conhecimento dentro de um domínio específico de aplicação, visando a obtenção de resultados que possam ser utilizados em aplicações reais. A utilização de abordagens de mapeamento entre ontologias poderá ser realizada no futuro para integrar ontologias de diferentes domínios de aplicação.

A adoção da metodologia proposta neste trabalho, no contexto da região do Pantanal, possibilita a organização e catalogação de funcionalidades e algoritmos de geoprocessamento e análise implementadas na forma de *Web Services* de maneira

sistemática. A utilização destes serviços na forma simples ou em composições pode ser realizada de maneira confiável uma vez que requisitos de qualidade de geodados estão disponíveis para verificação automática. Estes requisitos podem ser declarados considerando conceitos de qualidade específicos da região do Pantanal, envolvendo aspectos climáticos, topológicos, sociais, etc.

## 6. Agradecimentos

À Embrapa, pelo apoio na realização deste curso de doutorado e ao grupo TWSG do INPE.

## 7. Referências

Constantinescu, I.; Binder, W.; Faltings, B. **Flexible and efficient matchmaking and ranking in service directories** Web Services, IEEE International Conference on, vol. 0, pp. 5–12, 2005.

Chafle, G.; Das, G.; Dasgupta, K.; Kumar, A.; Mittal, S.; Mukherjea, S.; Srivastava, B. **An Integrated Development Environment for Web Service Composition** Web Services IEEE International Conference on, pp. 839-847, IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2007), 2007.

Dong, T.; Li, Q.; Zhang, K.; Cui, L. Z. **An extended matching method for semantic web service in collaboration environment** , pp. 508–513, 2007

Erl, T. **Service-Oriented Architecture : A Field Guide to Integrating XML and Web Services**. Prentice Hall PTR, 2004.

Horrocks, I.; Patel-Schneider, P. F.; Boley, H.; Tabet, S.; Grosz, B.; Dean, M. **SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML**, 2004.

Jena – **A Semantic Web Framework for Java**. Disponível em: <<http://www.openjena.org/>>. Acesso em: ago. 2010.

Ko, J. M.; Kim, C. O.; Kwon, I. **Quality-of-service oriented web service composition algorithm and planning architecture**. *J. Syst. Softw.* 81, 11 (Nov. 2008), 2079-2090, 2008.

Lemmens, R.; Wytzisk, A.; de By, R.; Granell, C.; Gould, M.; van Oosterom, P. **Integrating Semantic and Syntactic Descriptions to Chain Geographic Services**. *IEEE Internet Computing*, 2006.

Martin, D.; Burstein, M.; McDermott, D.; McIlraith, S.; Paolucci, M.; Sycara, K.; McGuinness, D. L.; Sirin, E.; Srinivasan, N. **Bringing Semantics to Web Services with OWL-S** World Wide Web, Kluwer Academic Publishers, 10, 243-277, 2007.

McGuinness, D. L.; van Harmelen, F. **OWL Web Ontology Language Overview**. 2004. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>> . Acesso em: ago. 2010.

OASIS, **OASIS Web Services Business Process Execution Language (WSBPEL) TC**. Disponível em <[http://www.oasis-open.org/committees/tc\\_home.php?wg\\_abbrev=wsbpel](http://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=wsbpel)>. Acesso em: ago. 2010.

Paolucci, M.; Kawamura, T.; Payne, T. R.; Sycara, K. **Semantic Matching of Web Services Capabilities**. In: International Semantic Web Conference (ISWC), 9 - 12 June, Sardinia, Italy, 2002.

Percivall, G. (ed) **OGC Reference Model**. Document number OGC 03-040 Version: 0.1.3. Open Geospatial Consortium, Inc. 2003.

Rao, J.; Su, X. **A Survey of Automated Web Service Composition Methods**. In Proceedings of the First International Workshop on Semantic Web Services and Web Process Composition, SWSWPC 2004, San Diego, California, USA, 2004.

Russell, S.; Norvig, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2nd edition edition, 2003.

Sirin, E.; Parsia, B.; Hendler, J. A. **Filtering and selecting semantic web services with interactive composition techniques** IEEE Intelligent Systems, vol. 19, no. 4, pp. 42–49, 2004.

Stanford Center for Biomedical Informatics Research, **The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System**, Disponível em: <<http://protege.stanford.edu/>>. Acesso em: ago. 2010.

Tomlin, C. D. **Geographic Information Systems and cartographic modeling**. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 249p. 1990.

W3C, **Web Service Architecture** Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2004/NOTE-wsarch-20040211/>>. Acesso em: ago. 2010.

W3C, **Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0 Part 0: Primer**. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/wsdl20-primer/>>. Acesso em: ago. 2010a.

W3C, **SOAP Version 1.2 Part 0: Primer (Second Edition)** Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/soap12-part0/>>. Acesso em: ago. 2010b.

W3C, **Geospatial Incubator Group Charter**. Disponível em: <<http://www.w3.org/2005/Incubator/geo/charter>>. Acesso em 2010c.

Ye, L.; Chen, J. **Formal functional description of semantic web services: the logic description method** In SOSE '06: Proceedings of the 2006 international workshop on Service-oriented *software* engineering. New York, NY, USA: ACM, 2006, pp. 54–59.

Yue, P.; Di, L.; Yang, W.; Yu, G.; P. Zhao **Semantics-based automatic composition of geospatial web service chains** Computer & Geosciences vol. 33, no. 5, pp. 649–665, 2007.