



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ARQUITETURA DE SERVIÇOS WEB PARA COOPERAÇÃO EM
MODELAGEM DE BIODIVERSIDADE

Karla Donato Fook

Proposta de Tese de Doutorado em Computação Aplicada, orientada
pelos Dr. Antônio Miguel V. Monteiro e Dr. Gilberto Câmara

INPE
São José dos Campos
2006

"Nem tudo o que se enfrenta pode ser modificado. Mas nada pode ser modificado até que seja enfrentado."

Albert Einstein (1879-1955)

RESUMO

Pesquisadores que trabalham com a biodiversidade tentam entender a adaptação de organismos no seu nicho ambiental e prover subsídios para uso consciente dos recursos naturais por parte de organizações científicas e instituições governamentais. O conhecimento obtido e utilizado por estes pesquisadores é um recurso a ser compartilhado na rede, além dos dados e serviços. Estes recursos podem estar em diferentes plataformas computacionais, dificultando seu acesso e manipulação. Dentre os desafios existentes está o desenvolvimento de uma infra-estrutura na qual pesquisadores em modelagem de biodiversidade possam colaborar e dividir conhecimento. Este trabalho apresenta uma proposta de tese que visa promover o compartilhamento de resultados de modelagens de biodiversidade, que envolvem amostras de espécies, dados ambientais e algoritmos de modelagem. Para compartilhar conhecimento, será criado um serviço *web* que permitirá a criação e a recuperação de instâncias de modelos. Um catálogo armazenará os dados e contexto dos modelos e permitirá a cooperação entre pesquisadores. A tese objetiva então apoiar a modelagem de espécies em ambiente global, por pesquisadores que colaboram em ambientes distribuídos. Os resultados das modelagens poderão ser utilizados em processos de planejamento urbano e ambiental, e de tomadas de decisão.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE TABELAS.....	6
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	7
CAPÍTULO 1.....	9
INTRODUÇÃO	9
1.1 Justificativa.....	10
1.2 Hipóteses	10
1.3 Objetivo Geral	11
1.3.1 Objetivo Específico	11
1.4 Contribuição desta proposta	11
1.5 Organização do texto	11
CAPÍTULO 2.....	12
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Serviços Web	15
2.2 GI Web Services.....	17
2.3 Arquiteturas	21
2.3.1 Sistemas Cliente-Servidor	21
2.3.2 Sistemas <i>Peer-toPeer</i>	22
CAPÍTULO 3.....	25
WBCMS – <i>WEB BIODIVERSITY COLLABORATIVE MODELLING SERVICE</i>	25
3.1 <i>Middleware</i> aplicado à Modelagem Cooperativa de Biodiversidade	26
3.1.1 CatalogModService	27
3.1.2 AccessModService	28
3.2 Estudo de Caso	29
3.2.1 Projeto openModeller	29
3.2.2 Cooperação no contexto do openModeller	31
3.3 Cronograma de Atividades	33
CAPÍTULO 4.....	34
CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Arquitetura Web Services [Fonte:(Marquezan, 2004)].....	16
FIGURA 2.2	Arquitetura GIS Web Services [Adaptada de (Alameh, 2003)].....	18
FIGURA 2.3	Sistema Cliente-Servidor	22
FIGURA 2.4	Sistema <i>Peer-to-Peer</i>	23
FIGURA 3.1	Contexto do trabalho	26
FIGURA 3.2	Middleware	27
FIGURA 3.3	Componente de Catálogo.....	28
FIGURA 3.4	Componente de Acesso ao Catálogo	28
FIGURA 3.5	openModeller (adaptado de (Muñoz, 2004))	30
FIGURA 3.6	Componentes no contexto openModeller (adaptado de (Muñoz, 2004)).....	31
FIGURA 3.7	Tipos de Cooperação	32

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – Protocolos e Redes Temáticas.....	13
TABELA 2.2 – Características e Desafios <i>GIS Web</i> e Informática da Biodiversidade.....	24

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCD	– <i>Access to Biological Collection Data</i>
BioCASE	– <i>Biological Collection Access Service for Europe</i>
CRIA	– Centro de Referência em Informação Ambiental
DAACs	– <i>NASA Distributed Active Archive Centers</i>
DAML	– <i>DARPA Agent Markup Language</i>
DiGIR	– <i>Distributed Generic Information Retrieval</i>
FAPESP	– Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FishNet2	– <i>Distributed Information System for Fish Networking</i>
GBIF	– <i>Global Biodiversity Information Facility</i>
GML	– <i>Geography Markup Language</i>
GriPhyN	– <i>Grid Physics Network</i>
HerpNet	– <i>Reptiles and Amphibians of Iowa and Minnesota</i>
HTML	– <i>Hyper Text Markup Language</i>
MANIS	– <i>Mammal Networked Information System</i>
NWGISS	– <i>NASA Web GIS Software Suite</i>
OGSA	– <i>Open Grid Service Architecture</i>
OGSI	– <i>Open Grid Service Interface</i>
OGC	– <i>OpenGIS Consortium Inc.</i>
ORNIS	– <i>ORNithological Information System</i>
OWL	– <i>Web Ontology Language</i>
PSE	– <i>Problem-Solving Environment</i>
SGML	– <i>Standard Generalized Markup Language</i>
TAPIR	– <i>TDWG Access Protocol for Information Retrieval</i>
TDWG	– <i>Taxonomic Databases Working Group</i>
URI	– <i>Uniform Resource Identifier</i>
W3C	– <i>World Wide Web Consortium</i>

WBCMS	– <i>Web Biodiversity Collaborative Modelling Service</i>
WCS	– <i>Web Coverage Service</i>
WFS	– <i>Web Feature Service</i>
WMS	– <i>Web Mapping Service</i>
WSDL	– <i>Web Services Description Language</i>
WSMO	– <i>Web Service Modeling Ontology</i>
WSML	– <i>Web Service Modeling Language</i>
XML	– <i>Extensible Markup Language</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Os recursos biológicos da biodiversidade dão suporte a funções e setores essenciais como Alimentação e Agricultura, Água, Indústria Farmacêutica, Medicina e tratamento do desperdício dos referidos recursos (Emmott, 2004). A proteção da biodiversidade é então uma das questões mais urgentes e importantes da atualidade.

A informação da biodiversidade é fundamental para as comunidades científicas, educacionais e governamentais, para a preservação da fauna e flora mundiais, bem como nos processos de tomada de decisão durante o planejamento e desenvolvimento urbano e regional. Cientistas que trabalham com tal informação empregam uma ampla variedade de fontes de dados, análises estatísticas e ferramentas para modelagem, e softwares para apresentação e visualização. Estes recursos podem estar em várias plataformas computacionais locais e remotas (White, 2004).

(Osthoff *et al.*, 2004) destaca que a colaboração entre pesquisadores não está somente na troca de dados, mas também na interação entre os modelos científicos e suas implementações, assim como na agregação de programas e de resultados de experimentos. O conhecimento adquirido por pesquisadores pode ser um valioso recurso a ser compartilhado neste contexto. A colaboração a partir deste conhecimento pode auxiliar pesquisadores no avanço de seus estudos, na aplicação de conhecimentos consolidados para solucionar novos problemas e na aquisição de novos conhecimentos.

O conjunto destes requisitos requer um ambiente que agrupa várias tecnologias, dentre as quais cita-se GIS e Serviços *Web*. Assim sendo, se buscou na literatura abordagens que tratam de questões comuns às referidas áreas, como Integração de Dados Espaciais na Web (Anderson; Moreno-Sanchez, 2003; Gibotti *et al.*, 2005; Pinto *et al.*, 2003), Encadeamentos de Serviços Estático e Dinâmico (Aditya; Lemmens, 2003; Alameh, 2003; Bernard *et al.*, 2003; Tsou; Battenfield, 2002), colaboração e aplicações da Computação em Grade em GIS Web (Di *et al.*, 2003; Foster; Kesselman, 1999; Foster *et al.*, 2003; Osthoff *et al.*, 2004; Panatkool;

Laoveeraku, 2002; Zhao *et al.*, 2004). Diante desse cenário as questões seguintes foram elaboradas:

- 1) Qual a melhor forma de suportar aplicações distribuídas sobre dados espaciais para modelagem de distribuição de espécies?
- 1) Como prover colaboração numa rede para modelagem da biodiversidade?

Esta proposta de tese parte do pressuposto de que as respostas a estas questões podem ser sintetizadas em uma infra-estrutura na qual dois ou mais usuários possam colaborar disponibilizando resultados de modelagem, independentes da aplicação e da plataforma. Isso pode tornar o conhecimento adquirido por pesquisadores em seus experimentos compartilháveis.

Este ambiente contemplará um *middleware* para apoiar a cooperação na rede de modelagem de distribuição de espécies através de conhecimento, que será obtido via integração de recursos como dados e serviços de modelagem.

1.1 Justificativa

Esta proposta de tese justifica-se pelo fato de que os profissionais da biodiversidade necessitam de uma infra-estrutura computacional, na qual as ferramentas que permitem fazer inferências sobre a diversidade e abundância de espécies em regiões distintas estejam disponíveis. Dentre estas ferramentas destacam-se as de modelagem de distribuição de espécies, que estão auxiliando na análise e solução de problemas como a previsão de distribuição de espécies e impacto de mudanças climáticas, além de problemas relacionados com a expansão de espécies invasoras.

1.2 Hipóteses

A tese proposta trabalhará com as seguintes hipóteses:

- (1) A cooperação entre pesquisadores de biodiversidade é necessária para uma boa modelagem da distribuição de espécies.
- (2) Ambientes computacionais adequados podem promover a cooperação. Estes ambientes devem promover a integração de dados, modelos e resultados.

(3) O arcabouço conceitual de serviços *web* fornece uma base para o desenvolvimento de ambientes cooperativos para modelagem de distribuição de espécies.

1.3 Objetivo Geral

O objetivo geral da tese é propor e desenvolver serviço *web* para a modelagem de biodiversidade. Este ambiente deve apoiar a modelagem de distribuição de espécies em ambiente global, por pesquisadores que colaboram em ambientes distribuídos.

1.3.1 Objetivo Específico

- 0) Oferecer um ambiente no qual dois ou mais usuários possam colaborar disponibilizando resultados de modelagem, independentes da aplicação e da plataforma.

1.4 Contribuição desta proposta

Do ponto de vista metodológico, esta proposta contribui para representar de forma compartilhável dados e contexto de modelos de distribuição de espécies. Isto promove o compartilhamento de conhecimento entre pesquisadores da referida área.

Do ponto de vista prático, a contribuição desta proposta está na disponibilização de uma infra-estrutura computacional na qual os usuários possam cooperar com resultados de suas modelagens.

1.5 Organização do texto

O Capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica abordando as tecnologias que serão utilizadas para a realização do trabalho, de forma contextualizada. O Capítulo 3 apresentará os detalhes desta proposta de tese, descrevendo o ambiente proposto e a experimentação do serviço *we* em um Projeto já em andamento, o Projeto openModeller¹ (Canhos *et al.*, 2004; CRIA; FAPESP, 2005a; Guralnick; Neufeld, 2005). As considerações finais sobre esta proposta estarão ressaltadas no Capítulo 4.

¹ <http://openmodeller.cria.org.br/>

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Informação de biodiversidade é crítica para uma gama extensiva de usos científicos, educacionais e governamentais, e é essencial para tomadas de decisão dentro de muitos campos. Iniciativas para integrar dados em recursos viáveis para inovação em ciência e tecnologia estão sendo desenvolvidas como iniciativas locais, regionais e globais (Canhos *et al.*, 2004). Entretanto, a colaboração entre estas comunidades não está somente na troca de dados, mas também na interação entre os modelos científicos e suas implementações, assim como na agregação de programas e de resultados de experimentos (Osthoff *et al.*, 2004).

O acesso aos dados de biodiversidade, através de novas ferramentas de software, serviços *web* e arquiteturas, traz oportunidades e dimensões para novas abordagens na análise ecológica, modelagem preditiva e síntese e visualização de informação de biodiversidade (Canhos *et al.*, 2004). Redes de acesso a esses dados objetivam torná-los disponíveis livremente e abertamente na Internet. Exemplos de redes dessa natureza são:

- GBIF² - *Global Biodiversity Information Facility* – Portal de dados que promove o desenvolvimento e adoção de padrões e protocolos para documentação e troca de dados de biodiversidade (DÄoring; Giovanni, 2004; Hobern; Saarenmaa, 2005);
- *SpeciesLink*³ - Sistema Distribuído de Informação que integra dados de coleções científicas do Estado de São Paulo, dados de observação do programa Biota/Fapesp e dados de acervos de algumas coleções do exterior (CRIA, 2005);
- *Lifemapper*⁴, uma biblioteca digital que serve dados de distribuição de espécie em escala global para a construção de mapas e modelos preditivos (Stockwell *et al.*, 2006);
- Manis⁵ – *Mammal Networked Information System*;

² <http://www.gbif.org/>

³ <http://splink.cria.org.br/>

⁴ <http://www.lifemapper.org/>

- ORNIS⁶ – *ORNithological Information System*;
- HerpNet⁷ - *Reptiles and Amphibians of Iowa and Minnesota*;
- FishNet2⁸ - *Distributed Information System for Fish Networking*.

Protocolos de acesso aos dados das coleções de biodiversidade foram desenvolvidos e alguns estão listados na TABELA 2.1.

TABELA 2.1 – Protocolos e Redes Temáticas

Protocolo	Características	Usado por
ABCD ⁹ - <i>Access to Biological Collection Data</i> (DÄoring et al., 2004; Guralnick et al., 2005)	• Padrão desenvolvido para o acesso e troca de dados sobre espécimes e observações	ABDC Portal
BioCase ¹⁰ - <i>Biological Collection Access Service for Europe</i> (Hobern et al., 2005).	• Baseado no protocolo DiGIR, mas incompatível por incorporar alterações específicas	BioCASE network
DiGIR ¹¹ - <i>Distributed Generic Information Retrieval</i> (DÄoring et al., 2004)	• Provê acesso de ponto único a fontes de dados distribuídas • Baseado em XML (UDDI) sobre HTTP para recuperar dados de bancos de dados independentes e heterogêneos	MaNIS OBIS speciesLink
TAPIR ¹² - <i>TDWG Access Protocol for Information Retrieval</i> (DÄoring et al., 2004)	• Versão revisada e integrada dos protocolos DiGIR and BioCASE • Proposto pelo TDWG (<i>Taxonomic Databases Working Group</i>) em 2004	PyWrapper ¹³ GBIF

Além dos dados espaciais, a comunidade também necessita que as funcionalidades ligadas à modelagem, visualização e análises destes sejam endereçadas. Integrar iniciativas em uma abordagem organizada e global para construir e gerenciar recursos de informação de biodiversidade através de esforços colaboradores é um desafio na informática da biodiversidade (Canhos et al., 2004; Guralnick et al., 2005). Para (Hall, 2004), os desafios existentes nesta área residem em: arquiteturas para

⁵ <http://manisnet.org/>

⁶ <http://ornisnet.org/>

⁷ <http://www.herpnet.org/>

⁸ <http://www.fishnet2.net/index.html>

⁹ <http://www.bgbm.org/TDWG/CODATA/>

¹⁰ <http://www.biocase.org/>

¹¹ <http://digir.sourceforge.net/>

¹² <http://www3.bgbm.org/protocolwiki/>

¹³ <http://trac.pywrapper.org/pywrapper/>

criação e gerenciamento de *workflow*¹⁴; desenvolvimento de *software* e *middleware*¹⁵; interfaces de usuário; protocolos para consulta aos dados; ferramentas analíticas e de modelagem e aplicações *Grid Networking*.

Projetos ligados à biodiversidade e e-Science se destacam por apoiar as comunidades científicas através de cooperação de recursos. Uma definição para e-Science encontrada em (Newman *et al.*, 2003) é “ciência em larga escala feita através de colaborações globais distribuídas habilitadas por redes, requerendo acesso a coleções de dados muito grandes, muitos recursos computacionais em grande-escala, e visualização de alta-performance”¹⁶. Uma infra-estrutura computacional que promova a integração de recursos e a cooperação entre seus usuários requer a utilização conjunta de algumas tecnologias, como *GIS* e *Serviços Web*, além das arquiteturas envolvidas.

A tecnologia *GIS* é fundamental neste contexto, pois permite o armazenamento e a apresentação de dados espaço-temporais e são aplicados na administração de recursos, telecomunicações, planejamento urbano e regional, e em todas as ciências que tratam da superfície da Terra (Câmara *et al.*, 2003; Goodchild, 2000). Funcionalidades como aquisição, visualização, modelagem e análise de dados geo-referenciados oferecidas pelos *GIS* são amplamente utilizadas nos meios acadêmicos e governamentais e geram uma demanda crescente da necessidade de integração com outras áreas.

A integração entre *GIS* e outras áreas correlatas propicia o fortalecimento das áreas envolvidas e aumenta a eficácia individual e comum de ambas. Segundo Goodchild, falta muito para o processo de interligação entre estas tecnologias estar completo (Goodchild, 2000). Entretanto, observa-se considerável progresso através de propostas de diferentes tipos de estratégias de integração entre as áreas. Pode-se destacar a integração completa (*full integration*) e os mecanismos acoplamento fraco (*loose coupling*) e acoplamento forte (*close coupling*, *seamless coupling* ou *strong coupling*) (Anselin, 1998; Bailey; Gatrell, 1995; Fischer *et al.*, 1996).

¹⁴ Automação de processos, onde as atividades são passadas de um participante para o outro de acordo com um conjunto de regras definidas.

¹⁵ Camada de *software* localizada entre o sistema operacional e a aplicação, provendo uma variedade de serviços requerida pela aplicação para funcionar corretamente.

¹⁶ www.research-councils.ac.uk/escience/

Esta integração evoluiu conjuntamente com a tecnologia da internet. Com isso a concepção de sistemas de informação tem migrado para uma arquitetura distribuída neste ambiente, passando a ser sistemas *web*. (Hernandez; Kambhampati, 2004) ressaltam como principais características desse ambiente: a natureza altamente diversa dos dados armazenados, a heterogeneidade dos dados, o modo como os dados são publicados e disponibilizados ao público e as várias interfaces e capacidades de consulta oferecidas pelas diferentes fontes. Com isso surgiu a possibilidade de disponibilizar softwares já existentes como *Serviços Web* (Marquezan, 2004).

2.1 Serviços Web

A tecnologia de *Serviços Web* habilita a computação distribuída baseada em componente e suporta esforços de integração de sistemas de informação (Haines, 2004; OGC, 2004). É uma tecnologia que promove a interação *application-to-application*. Os *serviços web* executam uma tarefa específica ou um conjunto de tarefas e são descritos em termos de arquitetura orientada a serviço (Curbera *et al.*, 2002; Newcomer, 2002; Panatkool *et al.*, 2002).

Existem muitas definições a cerca do que são *serviços web* e de sua arquitetura. Na tentativa de padronizar essas definições o W3C (*World Wide Web Consortium*) através do *W3C Web Service Architecture Working Group* estabeleceu a seguinte definição: “Um *serviço Web* é um sistema identificado por um identificador de recurso único (URI - *Uniform Resource Identifier*), cujas interfaces públicas e pontos de ligação (*bindings*) são definidos e descritos utilizando XML (*Extensible Markup Language*). Sua definição pode ser descoberta por algum outro sistema de software. Esses sistemas devem interagir com um *serviço Web* de forma prescrita em sua definição, utilizando mensagens baseadas em XML transmitidas através de protocolos da Internet” (W3C, 2004).

A XML é uma metalinguagem similar a HTML (*Hyper Text Markup Language*). É um subconjunto da SGML (*Standard Generalized Markup Language*), que usa pares de *tags*¹⁷ baseadas em texto entre parênteses para descrever o dado (Anderson *et al.*, 2003).

¹⁷ São estruturas de linguagem de marcação que consistem em breves instruções, tendo uma marca de início e outra de fim.

A infra-estrutura do serviço *web* trabalha em um nível de abstração semelhante ao da internet e inclui informação semântica associada com dados (Newcomer, 2002). A Figura 2.1 exibe a arquitetura dos Serviços *Web*.

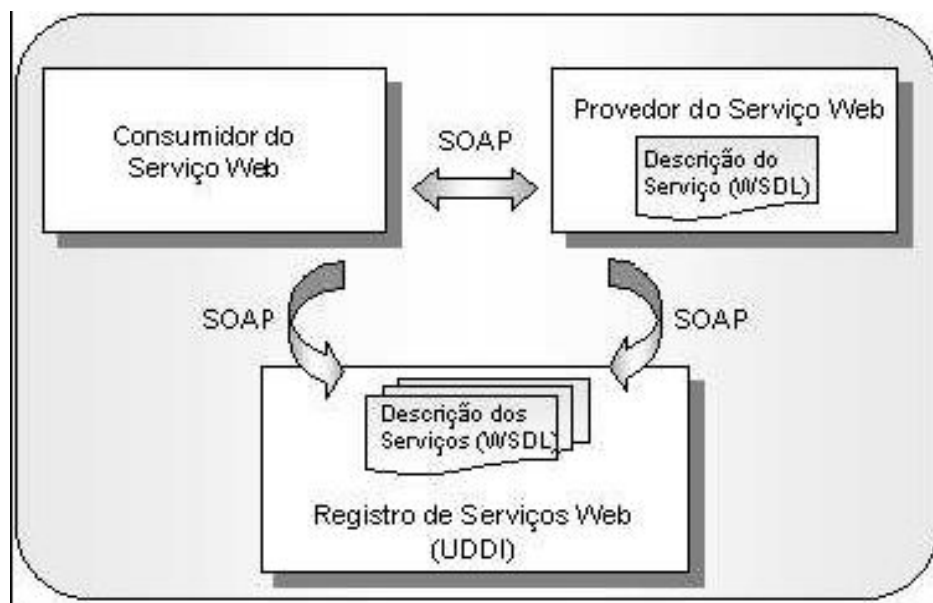


FIGURA 2.1 Arquitetura de Serviços *Web* [Fonte:(Marquezan, 2004)]

O Provedor de Serviços é o componente responsável pela criação de um serviço *web*, que envolve a descrição, de forma padronizada, de cada serviço criado e a sua publicação em registros centralizados e públicos. Estas atividades garantem que um serviço *web* seja compreendido por qualquer instituição que deseje utilizá-lo e que esta poderá encontrá-lo através de mecanismos de procura de serviços *web*. O Consumidor de Serviços representa a entidade que vai utilizar um serviço *web* criado por um provedor de serviços. Um consumidor de serviços é capaz de obter as informações necessárias para a vinculação a um serviço, a partir da descrição realizada pelo provedor desse serviço. Para tanto ele realiza uma consulta em um registro que contém essas informações. O Registro de Serviços é a entidade que permite a interação entre o provedor de serviços e o consumidor de serviços. É no Registro de Serviços que provedores de serviços publicam seus serviços para que os consumidores consigam encontrá-los e vinculem-se a eles. Trata-se essencialmente de um repositório baseado em XML.

A WSDL (*Web Services Description Language*) é uma especificação baseada em XML, que descreve serviços *web* disponíveis para os clientes. Estas descrições têm a forma de documentos XML para a interface de programação e local de serviços *web*. A especificação UDDI (*Universal Description, Discovery and Integration*) provê registro e

repositórios de serviços para armazenamento e recuperação de interfaces de serviços *web*. O protocolo SOAP (*Simple Object Access Protocol*) provê um mecanismo simples para intercâmbio de informação estruturada e tipada entre os membros de um ambiente distribuído descentralizado. É de particular relevância para o encadeamento de serviços (Anderson *et al.*, 2003; Gottschalk *et al.*, 2002; Newcomer, 2002; Probst; Lutz, 2004).

A seguir tem-se um panorama referente às tecnologias GIS e Serviços *Web*.

2.2 GI Web Services

O modelo GIS baseado em serviços está se materializando em virtude dos avanços das tecnologias dos Serviços *Web* (Alameh, 2003). GIS deixam de ser sistemas proprietários isolados e *standalone*, trabalhando em arquiteturas cliente-servidor para ser pequenas aplicações baseadas em *Web* (Curbera *et al.*, 2002; Newcomer, 2002; Panatkool *et al.*, 2002). A tecnologia dos Serviços *Web* tem papel significativo para a criação de aplicações distribuídas, pois permite que desenvolvedores GIS construam componentes GIS independentes que podem ser executados em qualquer plataforma usando qualquer linguagem (Panatkool *et al.*, 2002).

O número de *GI services* disponíveis na *web* aumenta continuamente e a proliferação de dados espaciais na Internet permite acesso muito mais amplo a dados disponíveis em vários GIS (Boucelma *et al.*, 2002). A Figura 2.2 exibe de forma simplificada a arquitetura *GI Web Services*, na qual os serviços *web* são solicitados por diferentes clientes/plataformas.

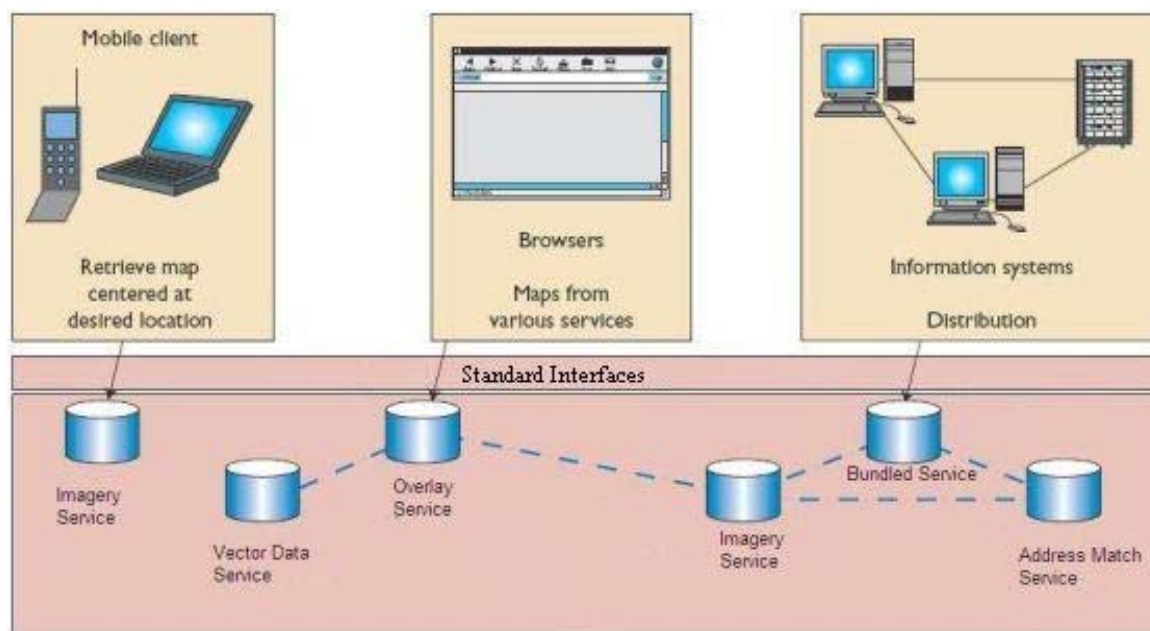


FIGURA 2.2 Arquitetura GI Web Services [Adaptada de (Alameh, 2003)]

A interoperabilidade nesta arquitetura é assegurada por vários esforços de especificação no domínio GEO: ISO/TC 211, OGC e W3C (Alameh, 2001; Bernard *et al.*, 2003; Tu *et al.*, 2002). A OWS (*OGC Web Services*) é uma das muitas iniciativas OGC para endereçar a falta de interoperabilidade entre sistemas que processam dados geo-referenciados. (Di *et al.*, 2003).

Dentre os protocolos e padrões criados e adotados cita-se XML, GML (*Geography Markup Language*), OWL (*Web Ontology Language/W3C*), DAML (*DARPA Agent Markup Language*) + OIL (*Ontology Integration Language*), WSMO¹⁸ (*Web Service Modeling Ontology/W3C*) e WSMML (*Web Service Modeling Language/W3C*).

A GML é baseada em XML e foi desenvolvida para permitir o transporte e armazenamento de informações geográficas. Suporta a interoperabilidade espacial de várias formas provendo um arcabouço de *schema* comum para expressar feições geo-espaciais (Anderson *et al.*, 2003; Panatkoool *et al.*, 2002). A OWL é uma linguagem de marcação para publicação e compartilhamento de dados utilizando ontologias na Internet. O DAML+OIL é uma sintaxe em RDF (*Resource Description Framework*) e XML, que pode ser usada para descrever conjuntos de fatos construindo uma ontologia (Oberle *et al.*, 2005). O WSMO¹⁹ (*Web Service Modeling Ontology/W3C*) é um projeto para descrição de vários aspectos da Semantic Web Services e a WSMML

¹⁸ <http://www.wsmo.org/index.html>

¹⁹ <http://www.wsmo.org/index.html>

(*Web Service Modeling Language*) formaliza o WSMO. Ressalta-se ainda as Categorias de *GIS Services* (OGC) (Alameh, 2001, , 2003; Di et al., 2003):

- Data Services
 - o WMS – *Web Mapping Service*: especificação que define protocolos que permitem a leitura de múltiplos *layers* geo-referenciados, contendo vetores e/ou imagens.
 - o WCS – *Web Coverage Service*: define interfaces interoperáveis para acesso a dados geo-espaciais, especialmente os de sensoriamento remoto.
 - o WFS – *Web Feature Service*: permite que clientes recuperem dados geo-espaciais codificados em GML.
- Processing Services
- Registry or Catalog Services

Assim, enquanto os Serviços *Web* regulares utilizam UDDI e XML padrão, a OWS (OGC *Web Services*) propõe o uso de serviços de catálogos para implementar a publicação, descoberta e seleção de operações e usa GML para codificar e transmitir objetos (Davis; Alves, 2005).

Segundo (OGC, 2005) os desafios existentes se encontram no geoprocessamento, na geosimulação, na semântica da geoinformação, no encadeamento de serviço, na qualidade de serviço e na integração das infra-estruturas de TI, como registros de serviço, autorização, autenticação e segurança de acesso. A comunidade tem buscado soluções de integração de dados GIS flexíveis e poderosas, onde dados geográficos podem ser acessados e trocados, e soluções que ofereçam um ambiente onde dois ou mais GIS heterogêneos interoperem um com o outro e troquem dados e serviços geográficos, independentes da estrutura e formato dos dados, do modelo de dados, da modelagem, da aplicação e da plataforma (Boucelma et al., 2002; Strauch et al., 1998).

A comunidade tem tratado de questões relacionadas com os desafios listados. O uso combinado de especificações abertas (*OS - Open Specifications*) e software de código

aberto (*OSS - Open Source Software*) para a criação de soluções para informação espacial baseada em *Web* foi proposto por (Anderson *et al.*, 2003). Nesta abordagem os autores apresentam os passos para a criação de um protótipo para o planejamento do uso do solo no México.

A Integração de Dados Espaciais na *Web* lida com um grande volume de dados, estruturas de dados heterogêneas para representar os componentes gráficos e não-gráficos dos dados espaciais. A complexidade na integração de fontes de dados provém da diversidade das aplicações existentes e do fato de que dados espaciais incorporam diferentes semânticas, formatos e representações (Pinto *et al.*, 2003). A busca a dados espaciais na *Web* também se faz presente no processo de integração e (Gibotti *et al.*, 2005) ressaltam que os dados geográficos são semi-estruturados por natureza.

A cooperação está ligada ao processo de integração de dados espaciais e é abordada em (Pinto *et al.*, 2003), que estende a uma arquitetura de integração de dados X-Arc, que usa metadados, acesso a dados heterogêneos e conceitos de mediação em seus componentes para prover serviços para localizar, compartilhar e publicar fontes de dados através da *Web*. Esta arquitetura é utilizada pelo ambiente para projeto colaborativo SpeCS, que é utilizado em processos de tomadas de decisão, e aumenta a sinergia e a cooperação dos usuários durante a troca de dados entre fontes de dados GIS.

Dentre as abordagens que tratam do encadeamento de *GI Services* na *Web* pode se ressaltar o trabalho de (Alameh, 2001) que propõe uma arquitetura para a construção de infra-estrutura extensível que suporte e facilite o encadeamento dinâmico de serviços distribuídos. Tal infra-estrutura pode facilitar a integração de GIS com outros sistemas de informação. Em outra abordagem, (Bernard *et al.*, 2003) propõem o encadeamento estático de *GI Web Services* para formar um serviço complexo e o aplica na estimação do bloqueio de estrada depois de tempestades.

Também trabalhando a questão do encadeamento de *GI Services*, (Tsou *et al.*, 2002) avaliam componentes e protocolos necessários para uma implementação de *GI Services* ligados dinamicamente e apresenta uma arquitetura dinâmica para a distribuição de Serviços de Informação Geográfica que trabalhe com a tecnologia de computação em *Grade Peer-To-Peer*. Um *framework* baseado em linguagens, arquiteturas computacionais e serviços *web* existentes foi implementado.

A tecnologia da Computação em Grade foi também vista em (Panatkool *et al.*, 2002), que propõem que o Paradigma descentralizado baseado no modelo de grade computacional seja usado em GIS. Na proposta de integração da Tecnologia em Grade com OGC Web Services, (Di *et al.*, 2003) abordam a integração do *Toolkit Globus*²⁰ com o sistema de serviço e distribuição de dados geo-espaciais NWGISS (*NASA Web GIS Software Suite*). Tal integração provê serviços de acesso aos dados geo-espaciais a usuários de dados da Terra observando dados arquivados em centros como DAACs (*NASA Distributed Active Archive Centers*).

Alguns autores destacam o uso de grades *Peer-to-Peer* (P2P) para resolver problemas em arquiteturas distribuídas. O trabalho de (Zhao *et al.*, 2004), por exemplo, descreve os serviços, arquitetura e aplicação do Sistema de Dados Virtual GriPhyN²¹ - *Grid Physics Network*. Este consiste de um conjunto de componentes e serviços que permitem aos usuários descrever produtos de dados virtuais em termos declarativos, descobrir definições e unir *workflows* baseados nessas definições, e executar o *workflow* resultante em recursos de Grade. Projetos como BDWorld²² - *BiodiversityWorld* (Jones *et al.*, 2003) e MyGrid²³ (Cirne *et al.*, 2003) propõem a tecnologia de Grade para o compartilhamento de recursos. Na subseção seguinte as arquiteturas distribuídas serão abordadas.

2.3 Arquiteturas

O serviço *web* proposto executará sob uma arquitetura distribuída. Alguns tipos de processos distribuídos serão abordados: clientes, servidores e *peers*. Os processos cliente e servidor são distintos e interagem entre si. Os processos *peer* são idênticos um ao outro, interagindo de forma cooperativa para realizar uma tarefa (Tarouco, 2005).

2.3.1 Sistemas Cliente-Servidor

Nos sistemas cliente-servidor a computação depende de uma organização central ou hierárquica, na qual os integrantes da rede não possuem o mesmo poder computacional em servir e utilizar recursos. O nó cliente não compartilha seus

²⁰ <http://www.globus.org/toolkit/>

²¹ <http://www.griphyn.org/>

²² <http://www.bdworld.org/>

²³ <http://www.lsd.ufcg.edu.br/~nazareno/documentos/acessoEmGrids/node7.html>

recursos, existindo uma entidade central que provê todo o conteúdo e serviços, o servidor. A Figura 2.3 exibe este tipo de sistema.

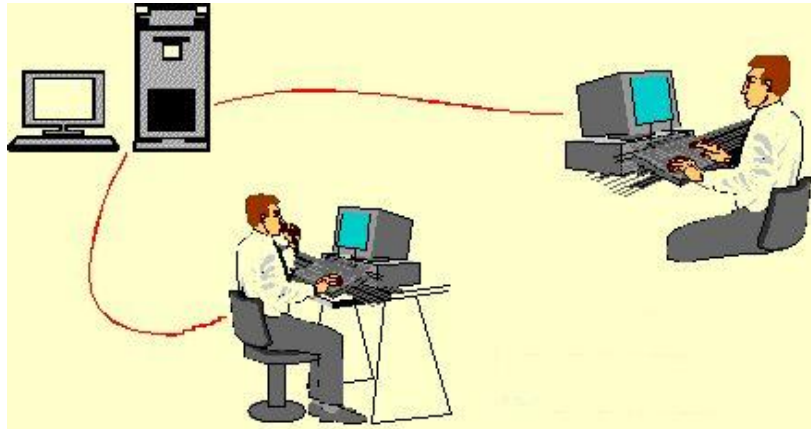


FIGURA 2.3 Sistema Cliente-Servidor

Na figura 2.3, tem-se 2 clientes e 1 servidor. Os clientes são nós que solicitam serviços a outros programas, os servidores. Um cliente pode interagir com um ou mais servidores, mas pelo menos um processo servidor é necessário. Os Servidores são processos reativos, disparados pela chegada de pedidos de seus clientes. São detentores dos recursos da rede e devem ter configuração mais robusta do que os clientes da rede, pois respondem às solicitações por serviços compartilhados. Geralmente, um processo servidor executa o tempo todo, oferecendo serviços a muitos clientes (Tarouco, 2005; Vale, 2006).

2.3.2 Sistemas *Peer-toPeer*

Os sistemas *peer-to-peer* (P2P) são formados por nós que possuem o mesmo poder computacional, podendo assumir papel de cliente ou de servidor. São também chamados de não hierárquicos (Figura 2.4).

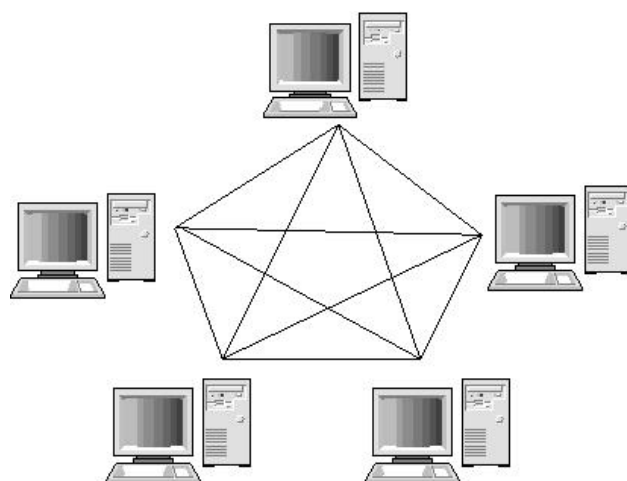


FIGURA 2.4 Sistema *Peer-to-Peer*

O sistema P2P foi adotado em abordagens diversas para definir a comunicação entre duas partes adjacentes. Usando este protocolo, um serviço *web* pode ser movido para qualquer local para processar dados sem a necessidade de se ter um servidor centralizado (Panatkool *et al.*, 2002). Neste trabalho, o sistema possui serviços para descobrir um ao outro dinamicamente sem uso de um registro ou índice. Um serviço *web* é um nó em uma rede. Durante a descoberta um cliente percorre os nós em busca de um serviço *web* satisfatório. Se um deles satisfizer o pedido, responde. Caso contrário cada consulta passa adiante, e a consulta se propaga pela rede (Palavra; Lisnjic, 2004)

O aumento da complexidade e sofisticação das aplicações, e a necessidade crescente para interoperabilidade propiciou uma forte convergência de interesse entre *peer-to-peer* e grade computacional (Foster *et al.*, 2001). Uma Grade computacional está interessada no “compartilhamento coordenado de recursos e resolução de problemas em organizações virtuais dinâmicas e multi-institucionais” (Foster, 2002; Foster *et al.*, 2001). Ainda segundo os autores, uma Organização Virtual (VO) é um conjunto de indivíduos e/ou instituições definido por regras que estipulam o compartilhamento altamente controlado, com provedores e consumidores de recursos definindo claramente e cuidadosamente o que é compartilhado, quem está habilitado a compartilhar, e as condições sob as quais o compartilhamento ocorre.

Após ressaltar as tecnologias que poderão estar inseridas no presente trabalho, a TABELA 2.2 apresenta as características e os desafios comuns dos *GIS Web* e Informática da Biodiversidade, indicando quais serão abordados na tese.

TABELA 2.2 – Características e Desafios *GIS Web* e Informática da Biodiversidade

GIS Web / Informática da Biodiversidade		
Características	Desafios Existentes	Desafios abordados na Proposta
• Grande volume de dados espaciais • Necessidade de Protocolos e Padrões • Natureza altamente diversa dos dados armazenados • Heterogeneidade dos dados • Modo como os dados são publicados e disponibilizados ao público • Esforços colaborativos para disponibilização de dados na <i>Web</i>	• Geoprocessamento • Geosimulação • Semântica da geoinformação • Encadeamento de serviços / <i>Workflow</i> • Computação em Grade • Integração <i>seamless</i> nas infra-estruturas de TI	• Encadeamento de serviços / <i>Workflow</i> • Integração nas infra-estruturas de TI • Cooperação

O capítulo seguinte descreverá a infra-estrutura proposta.

CAPÍTULO 3

WBCMS – WEB BIODIVERSITY COLLABORATIVE MODELLING SERVICE

Em uma rede de pesquisa, o conhecimento é um valioso aliado para descobertas e desenvolvimento contínuo de novos estudos e tecnologias. O seu compartilhamento e disseminação são desejados por pesquisadores em geral. Em uma rede de modelagem de biodiversidade, o conhecimento obtido ao término de uma modelagem poderá ser compartilhado através dos resultados da modelagem, chamados de instâncias²⁴ de modelos, que contém informações conceituais e das suas condições de geração.

Um serviço de modelagem cooperativa de biodiversidade, que seja baseado em um catálogo de instâncias de modelos, pode ajudar aos pesquisadores a encontrar respostas para questões como:

- “Qual a espécie modelada?”
- “De onde vieram os dados?”
- “Quais as variáveis ambientais usadas?”
- “Qual o algoritmo usado?”
- “Como visualizar o modelo?”, ou ainda,
- “Se eu tiver um problema, como posso buscar resultados semelhantes?”

Assim, o WBCMS (*WEB Biodiversity Collaborative Modelling Service*) é um serviço *web* que será projetado e desenvolvido para dar suporte à modelagem cooperativa de biodiversidade. Ele utiliza catálogos de instâncias de modelos e permite sua recuperação. Um *middleware* suportará o serviço.

O cenário no qual o *middleware* será desenvolvido consiste de usuários de uma rede que possuem dados locais e desejam executar serviços de modelagem geográfica. Para tanto, mais dados são necessários e estão distribuídos na internet. Estes pertencem a Coleções de Instituições, que disponibilizam dados de biodiversidade para análises em projetos de pesquisas, e a órgãos que lidam com processos de

²⁴ Conjunto de fatores, funções ou valores que perfazem um determinado domínio, campo ou esfera.

tomada de decisão e planejamento e controle ambiental. A Figura 3.1 ilustra esse cenário.

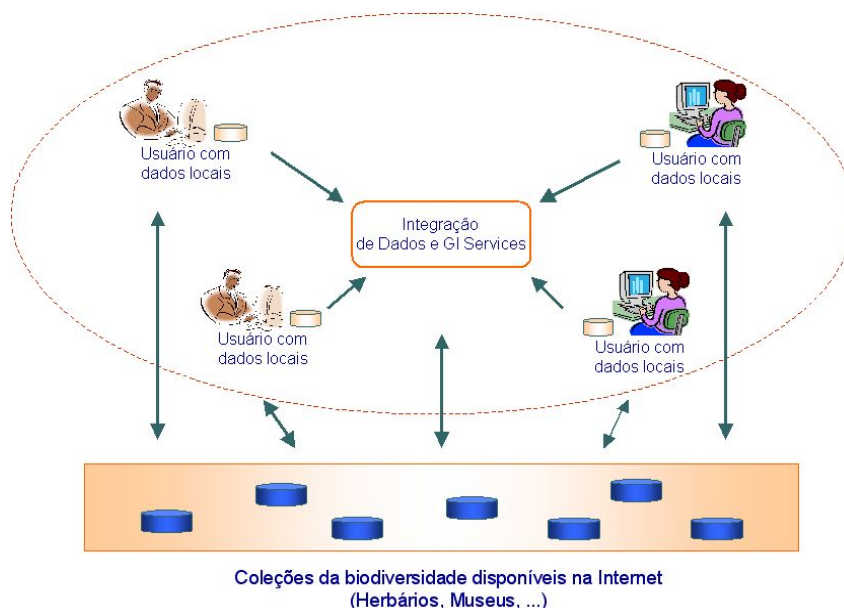


FIGURA 3.1 Contexto do trabalho

A integração de dados espaciais locais e remotos, bem como de *GI Services* que realizem a modelagem desses dados é necessária para que os pesquisadores e demais usuários da rede possam realizar suas atividades de modelagem. Assim, em uma rede de modelagem 3 tipos de cooperação podem ser identificados. A saber:

1. Instituições e/ou usuários cooperam com Dados
2. Instituições e/ou usuários cooperam com *GI Services*
3. Usuários cooperam com instâncias de modelos, catalogando-os e disponibilizando-os

Neste contexto, as instâncias de modelos são recursos gerados a partir de outros, como os dados e serviços presentes na rede. O *middleware* que permitirá a integração e geração destes recursos será descrito a seguir.

3.1 *Middleware* aplicado à Modelagem Cooperativa de Biodiversidade

Um serviço de modelagem cooperativa baseado num catálogo de instâncias de modelos será projetado e desenvolvido. Um *middleware* que permite a integração necessária à execução deste serviço é exibido na Figura 3.3.

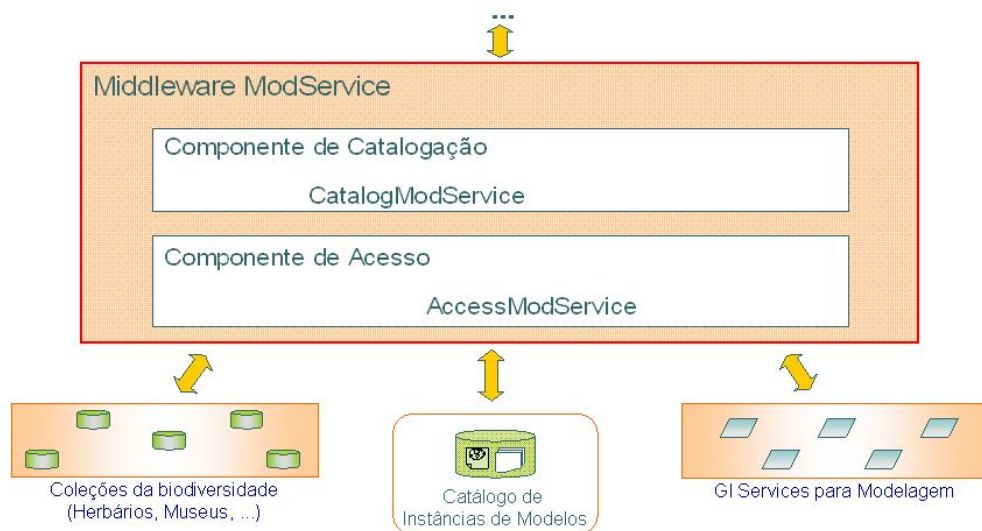


FIGURA 3.2 Middleware

O ModService possui dois componentes e contempla Serviços de Dados e Serviços de Processos. O componente de catalogação é denominado de CatalogModService e consiste de um conjunto de *GI Services* que recebe os dados de entrada, executa o algoritmo de modelagem e cataloga a instância de modelo de uma modelagem específica. O componente AccessModService é também um conjunto de *GI Services*, que permitem a busca e acesso às instâncias de modelos existentes no catálogo.

3.1.1 CatalogModService

O CatalogModService receberá os dados necessários para a modelagem (dados de espécimes locais e remotos, variáveis de ambiente, ...) e promoverá a integração destes com os *GI Services*. Executará o algoritmo de modelagem e irá compor as informações conceituais e referentes à geração do modelo, que constarão da instância do modelo. Uma vez que a instância seja composta, esta é inserida no catálogo (Figura 3.3).

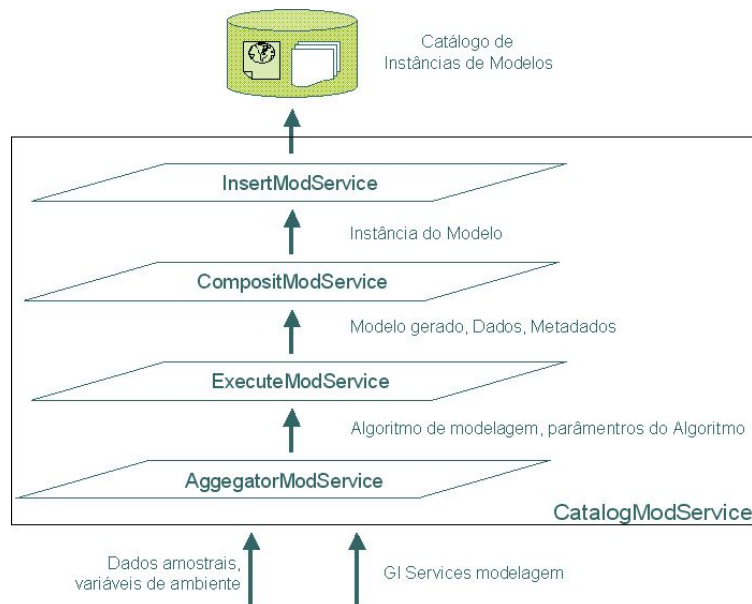


FIGURA 3.3 Componente de Catálogo

Os Serviços previstos para esse componente são o AggegatorModService, que irá preparar o ambiente para a execução do algoritmo; o ExecuteModService, que chamará o algoritmo de modelagem; o CompositModService, que comporá a instância do modelo resultante e criará a estrutura com os dados e metadados do modelo e o InsertModService, que efetivará a catalogação do modelo.

3.1.2 AccessModService

O AccessModService permitirá a busca, acesso e visualização das instâncias existentes no catálogo. A princípio será composto por QueryModService e RetrieveModService. A Figura 3.4 exhibe o componente de acesso.

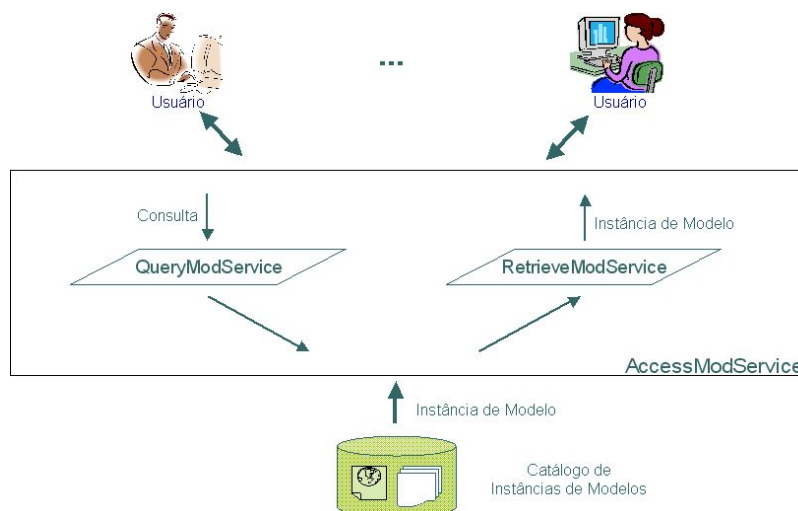


FIGURA 3.4 Componente de Acesso ao Catálogo

O QueryModService realizará a busca da instância de modelo requerida pelo usuário o RetrieveModService preparará a instância, caso pertença ao catálogo, e a disponibilizará para o usuário.

O *middleware* a ser desenvolvido poderá ser avaliado através de sua implementação em um ambiente do mundo real. O estudo de caso será descrito na subseção seguinte.

3.2 Estudo de Caso

A experimentação do *middleware* será realizada no Projeto openModeller²⁵ (Canhos et al., 2004; CRIA et al., 2005a; Guralnick et al., 2005).

3.2.1 Projeto openModeller

O Projeto openModeller busca oferecer um ambiente computacional para modelagem de distribuição de espécies, e usa arquitetura distribuída baseada em componentes. Engloba o desenvolvimento do openModeller (Figura 3.5), uma ferramenta de modelagem de distribuição espacial de código aberto desenvolvida pelo CRIA (Centro de Referência em Informação Ambiental) como parte do Projeto *speciesLink*²⁶ financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (CRIA et al., 2005b).

O projeto *speciesLink* provê um Sistema Distribuído de Informação que integra em tempo real dados primários de coleções científicas do Estado de São Paulo, dados de observação do programa Biota/FAPESP e dados de acervos de algumas coleções do exterior (CRIA, 2005).

²⁵ <http://openmodeller.cria.org.br/>

²⁶ <http://splink.cria.org.br/>

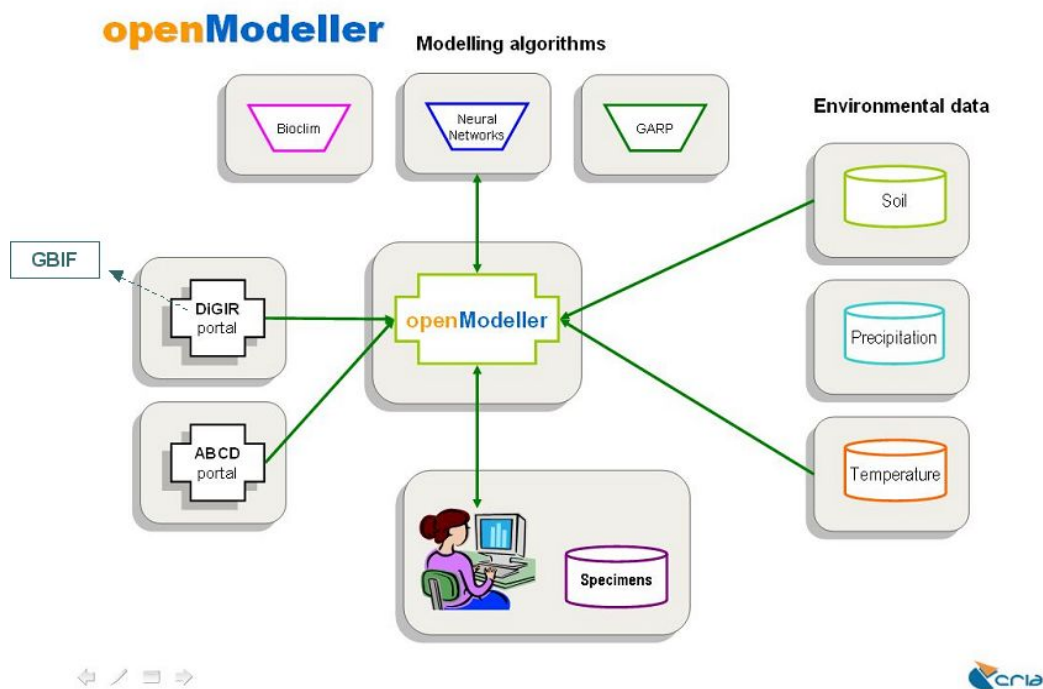


FIGURA 3.5 openModeller (adaptado de (Muñoz, 2004))

O openModeller utiliza o portal GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*) para a busca dos dados disponibilizados pelas instituições catalogadas na rede. O GBIF trata-se de um protótipo de serviço que provê acesso a dois tipos de dados: Nomes Taxonômicos e Espécimes, e Observações. Desenvolve também um “Catálogo Eletrônico de Nomes Taxonômicos”, que provê acesso à informação autorizada sobre nomes científicos e comuns para todos os organismos (DÄoring *et al.*, 2004).

Com relação à integração entre o GBIF e GIS, ela já existe em quantidades significantes de dados com um componente geo-espacial. Entretanto, há ainda a necessidade para disponibilizar esses dados para análise usando ferramentas GIS. Dessa forma o Portal de Dados GBIF incluirá serviços de cartografia básicos para ajudar com a visualização do componente geo-espacial do dado de ocorrência. Uma análise mais sofisticada está fora do escopo imediato do portal (DÄoring *et al.*, 2004).

Em 2005, no *BiodiversityWorld Grid Workshop*²⁷, foi proposto o uso do OpenModeller como um componente de uma Grade (Giovanni, 2005). O Projeto BDWorld é um projeto e-Science, no qual se busca tornar fontes de dados heterogêneas e

²⁷ <http://openmodeller.sourceforge.net/index.php?option=content&task=view&id=35&Itemid=>

ferramentas analíticas de relevância para a biodiversidade disponíveis em uma configuração de Grade Computacional (Jones *et al.*, 2003).

3.2.2 Cooperação no contexto do openModeller

A inserção do *middleware* proposto no contexto atual do openModeller leva ao Serviço de Modelagem Colaborativa, exposto na Figura 3.6.

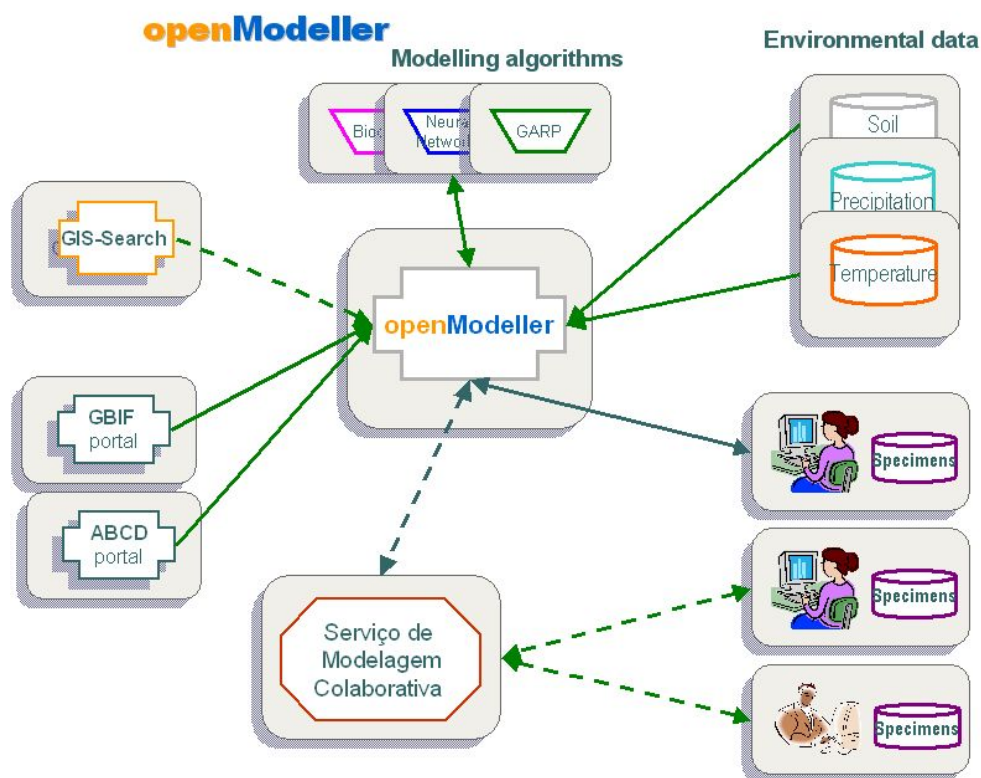
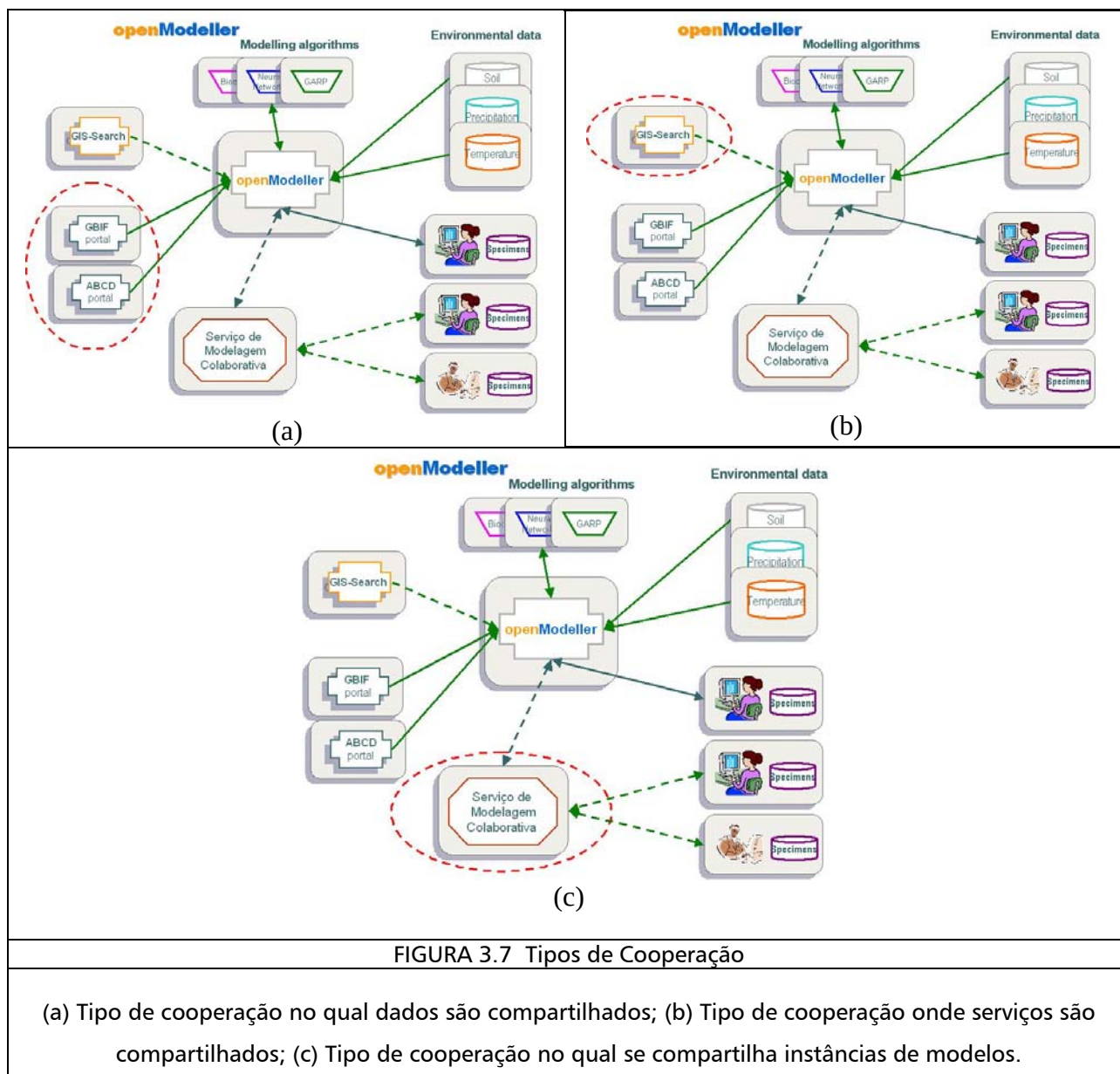


FIGURA 3.6 Componentes no contexto openModeller (adaptado de (Muñoz, 2004))

As linhas tracejadas representam os itens que irão suportar a integração de *GIS Services* e também o tipo de cooperação proposto. A Figura 3.7 ilustra como os tipos de colaboração podem ser alcançados no openModeller.



Os diagramas da Figura 3.7 mostram componentes a serem inseridos no contexto do openModeller para apoiar os tipos de cooperação abordados.

1. Instituições e/ou usuários cooperam com Dados, através de redes de acesso a dados de biodiversidade distribuídos existentes.
2. Instituições e/ou usuários cooperam com GI Services, que pode ser alcançado através do desenvolvimento de um protocolo. Este não faz parte do escopo desta proposta.
3. Usuários cooperam com instâncias de modelos, catalogando-os e disponibilizando-os, através do WBCMS proposto.

A presente proposta visa estabelecer a cooperação do tipo 3. O *middleware* ModService irá promover a catalogação e o acesso às instâncias de modelos, apoiando a cooperação através do compartilhamento do conhecimento que possa ser adquirido com a modelagem.

A idéia é que ao criar um modelo no openModeller, o usuário poderá disponibilizá-lo para que os demais usuários acessem não apenas o modelo gerado, mas todas as informações conceituais e de conteúdo referentes a ele. Para isso a arquitetura do openModeller será estendida para a criação de um serviço de catalogação de instâncias de modelos. Uma instância de modelo contemplará metadados do modelo (autor, dados de entrada/pontos de ocorrência, variáveis ambientais, figuras JPEG ou GIF do mapa de distribuição de espécies, etc.), além de uma descrição semântica do mesmo. Esta descrição irá permitir o entendimento do processo de modelagem e do que está sendo modelado.

Dentro do exposto, o openModeller se apresentará com uma arquitetura orientada a serviços. A seguir um cronograma será apresentado com as atividades que deverão se realizar para a elaboração da tese.

3.3 Cronograma de Atividades

	Jul-Set 2006	Out-Dez 2006	Jan-Mar 2007	Abr-Jun 2007	Jul-Set 2007	Out-Dez 2007	Jan-Mar 2008
Construção dos elementos conceituais e teóricos	X						
Especificação do ambiente computacional proposto	X						
Desenvolvimento do <i>Middleware</i>		X	X	X	X		
Experimentação (Estudo de Caso)			X	X	X	X	
Documentação do Trabalho							
Redação de artigos	X			X		X	
Redação da Tese	X	X	X	X	X	X	X
Defesa da Tese							X

CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Falar da informática da biodiversidade nos remete a questões relevantes para a conservação da fauna e flora mundiais. Muitos esforços colaboradores estão em busca de melhorias nas estruturas computacionais que venham a aumentar a qualidade de acesso aos dados de biodiversidade, bem como a serviços ligados a eles. O desenvolvimento de pesquisas para viabilizar ambientes que compartilhem recursos em ambiente *web* tem merecido a atenção de comunidades ligadas às áreas GIS e Informática da Biodiversidade.

Esta proposta de tese insere-se em um contexto que engloba tecnologias como Serviços *Web* e GIS *Web*. Estas irão compor uma infra-estrutura computacional que permitirá que os usuários de uma rede para modelagem de distribuição de espécies possam cooperar através da catalogação de instâncias de modelos. Estas compreendem informações semânticas e de conteúdos dos resultados de modelagens, que suportem a reprodução de experimentos e reutilização de conhecimentos em novas situações.

Ao final deste trabalho, espera-se produzir um documento com conclusões a cerca do ganho do uso de um ambiente computacional que permita a cooperação dos usuários através do compartilhamento de seus conhecimentos, através de resultados de modelagens, numa infra-estrutura para modelagem distribuição de espécies. Isto contribuirá para uma maior qualidade dos recursos utilizados por instituições científicas e governamentais na preservação da biodiversidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aditya, T.; Lemmens, R. **Chaining Distributed GIS Services**. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, 2003.
- Alameh, N. **Scalable and Extensible Infrastructures for Distributing Interoperable Geographic Information Services on the Internet**. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2001.
- ____. Chaining geographic information web services. **IEEE Internet Computing**, 2003.
- Anderson, G.; Moreno-Sanchez, R. Building Web-Based Spatial Information Solutions around Open Specifications and Open Source Software. **Transactions in GIS**, v. 7, n. 4, p. 447-466, 2003.
- Anselin, L. Exploratory Spatial Data Analysis in a Geocomputational Environment. In: Longley, P.; Brooks, S.; McDonnell, R.; Macmillan, B. (Ed.). **Geocomputation: A Primer**. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- Bailey, T.; Gatrell, A. **Interactive Spatial Data Analysis**. London: Longman Scientific and Technical, 1995.
- Bernard, L.; Einspanier, U.; Lutz, M.; Portele, C. Interoperability in GI Service Chains-The Way Forward. In: 6th AGILE Conference on Geographic Information Science, 2003, Muenster. Disponível em: musil.uni-muenster.de.
- Boucelma, O.; Essid, M.; Lacroix, Z. A WFS-Based Mediation System for GIS Interoperability. In: ACM GIS'02 - The 10th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, 2002, McLean, Virginia, USA.
- Câmara, G.; Monteiro, A. M.; Davis, C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2003. Disponível em: www.dpi.inpe.br/gilberto/livro.
- Canhos, V. P.; Souza, S.; Giovanni, R. D.; Canhos, D. A. L. Global biodiversity informatics: setting the scene for a "new world" of ecological modeling. **Biodiversity Informatics**, v. 1, p. 1-13
- Cirne, W.; Paranhos, D.; Costa, L.; Santos-Neto, E.; Brasileiro, F.; Sauvé, J.; Silva, F. A. B. d.; Barros, C. O.; Silveira, C. Running Bag-of-Tasks Applications on Computational Grids: The MyGrid Approach. In: ICCP - International Conference on Parallel Processing, 2003, Kaohsiung. 32: IEEE Computer Society, p. 407.
- CRIA. **Projeto speciesLink**. 2005. Disponível em: <http://splink.cria.org.br/>.

CRIA; FAPESP. **openModeller: Static Spatial Distribution Modelling Tool**. 2005a. Disponível em: <http://openmodeller.cria.org.br/>. Acesso em: agosto/2005.

CRIA; INPE; USP. **Project Proposal: A framework for species distribution modeling**. INPE, 2005b. 20 p.

Curbera, F.; Duftler, M.; Khalaf, R.; Nagy, W.; Mukhi, N.; Weerawarana, S. Unraveling the Web services web: an introduction to SOAP, WSDL, and UDDI. **IEEE Internet Computing**, 2002.

DÄoring, M.; Giovanni, R. D. **GBIF Data Access and Database Interoperability: A united protocol for search and retrieval of distributed data**. CRIA - Centro de Referência em Informação Ambiental, 2004.

Davis, C.; Alves, L. L. Local Spatial Data Infrastructures Based on a Service-Oriented Architecture. In: GeoInfo 2005 - VII Brazilian Symposium on GeoInformatics, 2005, Campos do Jordão, SP, Brazil. Disponível em: <http://www.geoinfo.info/geoinfo2005/index.html>.

Di, L.; Chen, A.; Yang, W.; Zhao, P. The Integration of Grid Technology with OGC Web Services (OWS) in NWGISS for NASA EOS Data. In: HPDC12 (Twelfth IEEE International Symposium on High-Performance Distributed Computing) & GGF8 (The Eighth Global Grid Forum), 2003, Seattle, Washington, USA.

Emmott, S., 2004, **Biodiversity: The need for a joint Industry, Governments & Scientific community response**, Converging Sciences Conference, Trento, Italy.

Fischer, M. M.; Scholten, H. J.; Unwin, D. Geographic Information Systems, spatial data analysis and spatial modelling: an introduction. In: Fischer, M. M.; Scholten, H. J.; Unwin, D. (Ed.). **Spatial analysis perspectives in GIS**. Taylor and Francis, 1996.

Foster, I., 2002, **What is the Grid? A Three Point Checklist**, GRIDToday.

Foster, I.; Kesselman, C. Computational Grids. **The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure**. Morgan-Kaufman, 1999.

Foster, I.; Kesselman, C.; Tuecke, S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. **International J. Supercomputer Applications**, v. 15, n. 3

Foster, I.; Vöckler, J.; Wilde, M.; Zhao, Y. The Virtual Data Grid: A New Model and Architecture for Data-Intensive Collaboration. In: First Biennial Conference on Innovative Data Systems Research, 2003, Asilomar, California.

Gibotti, F. R.; Câmara, G.; Nogueira, R. A. GeoDiscover – a specialized search engine to discover geospatial data in the Web. In: GeoInfo 2005 – VII Brazilian Symposium on

GeoInformatics, 2005, Campos do Jordão, SP, Brazil. Disponível em: <http://www.geoinfo.info/geoinfo2005/index.html>.

Giovanni, R. D. The openModeller project. In: BiodiversityWorld GRID workshop, 2005, Edinburgh. e-Science Institute, Disponível em: <http://www.nesc.ac.uk/esi/events/594/>.

Goodchild, M. F. The current status of GIS and spatial analysis. **Journal of Geographical Systems**, v. 2, p. 5-10

Gottschalk, K.; Graham, S.; Kreger, H.; Snell, J. Introduction to Web services architecture. **IBM Systems Journal**

Guralnick, R.; Neufeld, D. Challenges building online gis services to support global biodiversity mapping and analysis: lessons from the Mountain and plains database and informatics project. **Biodiversity Informatics**, v. 2, p. 56-69

Haines, M. N. Web services as information systems innovation: a theoretical framework for Web service technology adoption. In: IEEE International Conference on Web Services, 2004, San Diego, California, USA. p. 11-16.

Hall, P., 2004, **Biodiversity E-tools to Protect our Natural World**, Converging Sciences Conference, Trento, Italy.

Hernandez, T.; Kambhampati, S. Integration of Biological Sources: Current Systems and Challenges Ahead. **SIGMOD Record**, v. 33, n. 3

Hobern, D.; Saarenmaa, H. **GBIF Data Portal Strategy**. GBIF, 2005.

Jones, A. C.; White, R. J.; Pittas, N.; Gray, W. A.; Sutton, T.; Xu, X.; Bromley, O.; Caithness, N.; Bisby, F. A.; Fiddian, N. J.; Scoble, M.; Culham, A.; Williams, P. BiodiversityWorld: An architecture for an extensible virtual laboratory for analysing biodiversity patterns. In: UK e-Science All Hands Meeting, 2003, Nottingham, UK. Cox, S.J., p. 759-765. Disponível em: <http://www.bdworld.org/index.php?option=content&task=view&id=11&Itemid=26>.

Marquezan, C. C. **Estudo das características de serviçosWeb (Web Services) e de seus cenários de aplicação**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Informática. Programa de Pós-Graduação em Computação, 2004. 61 p.

Muñoz, M. openModeller: A framework for biological/environmental modelling. In: Inter-American Workshop on Environmental Data Access, 2004, Campinas, SP. Brazil. Disponível em: <http://openmodeller.cria.org.br>.

Newcomer, E., 2002, **Understanding Web Services- XML, WSDL, SOAP and UDDI**, In: Addison-Wesley, ed.

Newman, H. B.; Ellisman, M. H.; Orcutt, J. A. Data-intensive e-science frontier research. **Communications of the ACM**, v. 46, n. 11, p. 68-77 Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=948383.948411>.

Oberle, D.; Staab, S.; Studer, R.; Volz, R. Supporting application development in the semantic web. **ACM Transactions on Internet Technology (TO IT)**, v. 5, n. 2

OGC. **The Spatial Web. An Open GIS Consortium (OGC) White Paper**. 2004. Disponível em: <http://www.opengis.org>.

_____. **Interoperability & Open Architectures: An Analysis of Existing Standardisation Processes & Procedures**. Open Geospatial Consortium (Europe) Ltd, 2005. (Reference number of this OGC™ document: OGC 05-049. Version: 1.0.).

Osthoff, C.; Almeida, R. A. d.; C.V.Monteiro, A.; Strauch, J.; Souza, J. M. d.; Brito, H. M. d. **MODGRID – Um ambiente na WEB para desenvolvimento e execução de modelos espaciais em um ambiente de Grades Computacionais**. Petrópolis: LNCC - Laboratório Nacional de Computação Científica, 2004.

Palavra, D.; Lisnjic, D. Web services as standard of connecting heterogeneous information systems. In: 26th International Conference on Information Technology Interfaces, 2004 1: IEEE, p. 201 - 206.

Panatkool, A.; Laoveeraku, S. Decentralized GIS Web Services on Grid. In: Open source GIS - GRASS users conference, 2002, Trento, Italy.

Pinto, G. d. R. B.; Medeiros, S. P. J.; Souza, J. M. d.; Strauch, J. C. M.; Marques, C. R. F. Spatial data integration in a collaborative design framework. **Communications of the ACM**, v. 46, n. 3, p. 86-90

Probst, F.; Lutz, M. Giving Meaning to GI Web Service Descriptions. In: 2nd International Workshop on Web Services: Modeling, Architecture and Infrastructure (WSMAI-2004), 2004, Porto, Portugal.

Stockwell, D. R. B.; Beach, J. H.; Stewart, A.; Vorontsov, G.; Vieglaiss, D.; Pereira, R. S. The use of the GARP genetic algorithm and Internet grid computing in the Lifemapper world atlas o species biodiversity. **Ecological Modelling**, v. 195, n. 1-2, p. 139-145 Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=409186216&_sort=d&_st=4&_acct=C000049643&_version=1&_urlVersion=0&_urlserid=972035&md5=28aa340861acca8032bee7548728683f.

Strauch, J. C. M.; Souza, J. M. d.; Mattoso, M. **A Methodology for GIS Databases Integration**. Rio de Janeiro, 1998.

Tarouco, L. M. R., 2005, **Tutorial Cliente-Servidor**, In: http://penta2.ufrgs.br/redes296/cliente_ser/tutorial.htm, ed., Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Tsou, M. H.; Battenfield, B. P. A Dynamic Architecture for Distributing Geographic Information Services. **Transactions in GIS**, v. 6, n. 4, p. 355-381, 2002.

Tu, S.; Xu, L.; Abdelguerfi, M.; Ratcliff, J. J. Applications: Achieving interoperability for integration of heterogeneous COTS geographic information systems In: 10th ACM international symposium on Advances in geographic information systems, 2002, McLean, VA (near Washington, D.C.). ACM Press,

Vale, J. C. S. d. **MyGSI - Uma Proposta de Segurança para Grades Peer-To-Peer**. 122 p. Departamento de Engenharia e Teleinformática - DETI) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

W3C. **W3C - Web Services Description Language (WSDL) 2.0**. 2004. Disponível em: <http://www.w3.org>.

White, R., 2004, **Helping biodiversity researchers to do their work: collaborative e-Science and virtual organisations**, Converging Sciences Conference, Trento, Italy.

Zhao, Y.; Wilde, M.; Foster, I.; Voeckler, J.; Jordan, T.; Quigg, E.; Dobson, J. Grid middleware services for virtual data discovery, composition, and integration In: 2nd workshop on Middleware for Grid Computing 2004, Toronto, Ontario. Canada. ACM Press,