



20 e 21 de outubro

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
São José dos Campos - SP

TerraLib 5.0: Supporting Data-Intensive GIScience

Gilberto Ribeiro de Queiroz¹, Karine Reis Ferreira¹, Lúbia Vinhas¹, Gilberto Câmara², Antônio M. V. Monteiro¹, Juan P. Garrido¹, Lauro Hara¹, Marisa Xavier¹, Emiliano Ferreira Castejon¹, Ricardo Cartaxo Modesto de Souza¹

¹DPI – Divisão de Processamento de Imagens
COBT – Coordenação Geral de Observação da Terra.

²DSA – Divisão Sócio-Ambiental
CCST – Centro de Ciência do Sistema Terrestre

{gribeiro, karine, lubia, miguel, juan, lauro, marisa, castejon, cartaxo}@dpi.inpe.br, gilberto.camara@inpe.br

Abstract. *An increase of geo-spatial data availability due to recent technological advances in data acquisition instruments (GPS, Sensor Networks, Remote Sensing Satellites), has brought Geo-Information Science researchers to the following scenario: a huge amount of data to carry out their research as opposed to a lack of tools to handle it adequately. Thus, the demand for the inclusion of better tools for handling temporal and behavioral dimensions in relation to software such as Geographical Information Systems has increased. Nevertheless, the current GIS, referred to as 20th Century GIS, were not designed in order to meet such a demand. Therefore, the need has come up to design a new GIS generation, the 21st Century GIS, with tools capable of addressing researcher's needs. This work aims at proposing the development of software architecture to support a data-intensive Geographical Information Science as part of an effort to establish a 21st Century Geographical Information Engineering.*

Resumo. *O aumento da disponibilidade de dados geo-espaciais devido aos recentes avanços tecnológicos nos instrumentos de aquisição de dados (GPS, Redes de Sensores e Satélites de Sensoriamento Remoto), colocou os pesquisadores da área da Ciência da Geo-Informação (GIScience) diante de um cenário único: a existência de imensos volumes de dados para a realização de suas pesquisas e a falta de ferramentas adequadas para manipular esses dados. Assim, as demandas trazidas às ferramentas de software usadas nos estudos geo-espaciais conhecidas como Sistemas de Informação Geográfica ou SIG, se tornaram cada vez maior, com a necessidade de inclusão de um melhor tratamento das dimensões temporais e comportamentais para o estudo de problemas geo-espaciais. No entanto, os*

atuais SIGs, referidos neste trabalho como SIG do século 20, não foram projetados de forma a atender toda esta demanda. Será preciso projetar uma nova geração de SIG, os SIG do século 21 para fornecer ferramentas capazes de organizar e tratar adequadamente todas as demandas dos pesquisadores. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de desenvolvimento de uma arquitetura de software para integração de dados em fontes de dados heterogêneas, a fim de dar o suporte necessário a uma GIScience capaz de fazer uso intensivo dos dados. Trata-se de um esforço para construção de uma Engenharia de Geo-Informação (GI-Engineering) do século 21.

Palavras-chave: GIS, TerraLib, Software Architecture.

1. Introdução

Tradicionalmente, as imagens de sensoriamento remoto têm sido uma das fontes de dados mais importante para os estudos do nosso planeta. A série de satélites Landsat (NASA, 2009), por exemplo, têm fornecido imagens da superfície terrestre com uma cobertura completa da Terra a cada 16 dias em uma resolução de 30 metros. Sensores a bordo das plataformas Terra e Aqua fornecem imagens para estudos da atmosfera, oceano e superfície do solo, em baixas resoluções (da ordem de quilômetros) e moderadas (entre 15 e 250 metros), cobrindo a Terra a cada dois dias (Rudorff et al., 2007). E segundo Câmara et al. (2008), a partir de 2010 haverá uma constelação de satélites de imageamento da superfície capaz de fornecer uma quantidade ainda maior de dados, desde resoluções moderadas (entre 20 e 50 metros) num intervalo de cobertura completa do planeta a cada dois dias, até de alta resolução (2 metros ou menos) com informações bem mais detalhadas.

Além dos satélites, existem outras tecnologias de coleta de dados geo-espaciais que vêm despontando. Uma delas é a de Rede de Geo-Sensores, que têm o potencial de aumentar ainda mais a quantidade de dados disponíveis para estudos em diversas áreas da ciência. Os sensores nestas redes podem detectar mudanças de temperatura, pressão, umidade, luz, som, magnetismo ou concentrações químicas, possibilitando, entre outras coisas, monitorar a poluição do ar, fazer o estudo do micro-clima do habitat de um animal, além de realizar um grande número de tarefas de estudo e monitoramento (Reis, 2005). Projetos como *Life Under Your Feet* (Szlavec et al., 2006) mostram como os dados gerados por esta tecnologia podem revolucionar os estudos através do fornecimento de medidas com granularidades temporais e espaciais que antes eram consideradas impossíveis.

Outra tecnologia que também vem ganhando espaço é a baseada em dispositivos de computação móvel, como celulares e PDAs (*Personal Digital Assistant*), equipados com sistemas de localização (ex: GPS). Estes dispositivos, cada vez mais populares no cotidiano das pessoas, são responsáveis por uma profusão de equipamentos “*spatially-aware*”, ou seja, equipamentos capazes de determinar sua própria localização. Desta forma, abrem-se novas possibilidades de aplicações, além é claro, de tornar tais equipamentos, instrumentos importantes para coleta de dados com informações espaciais.

Diante deste cenário, os pesquisadores passam por um momento único: a disponibilidade cada vez maior de dados para a realização de suas pesquisas. Em grande parte, isto se deve à evolução dos equipamentos de aquisição mas no entanto, nos leva a

discutir como será o gerenciamento de dados científicos da próxima década. Sabe-se que as ferramentas de análise terão que ser aperfeiçoadas mantendo-se o mesmo ritmo que a nossa capacidade atual de armazenar e coletar dados para que os pesquisadores possam focar na ciência ao invés de se tornarem profissionais da área de TI, *experts* em várias ferramentas de manipulação e extração de informação. E diferentemente do mundo comercial onde os Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBDs) se tornaram o padrão de fato, nas várias áreas da ciência não existe um único padrão de armazenamento ou ferramenta de software para análise dos dados. Em consequência disso, softwares como os Sistemas de Informação Geográfica, concebidos como sistemas de propósito gerais, terão que inovar tanto na parte tecnológica quanto no projeto de suas arquiteturas para atenderem os grandes desafios do século 21 (Gray et al., 2005).

No caso dos SIGs, as suas bases tecnológicas datam dos anos 60, com destaque para os trabalhos realizados dentro do laboratório da Universidade de Havard conhecido como *Harvard Lab for Computer Graphics and Spatial Analysis*. As décadas de 70 e 80 marcaram o início do desenvolvimento de uma indústria tecnológica neste segmento que hoje movimenta bilhões em todo o mundo. Parte deste desenvolvimento foi obtida com investimentos realizados na criação de um suporte para uma melhor fundamentação científica do desenvolvimento destes sistemas e também pela necessidade de aperfeiçoar a capacidade de manipulação de informações espaciais. Nos anos 80, a National Science Foundation (NSF) dos EUA criou o National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) com o objetivo claro de avançar tanto nos fundamentos teóricos que serviriam de alicerces para os SIGs quanto também para formar um corpo técnico especializado (Câmara et al., 2008; Mark et al., 2009). Nos anos 90, Goodchild (1992) introduziu o termo GIScience (Ciência da Geo-Informação) para se referir a este campo de estudo na retaguarda da tecnologia dos SIGs:

“Ciência da Geo-Informação (Geographical Information Science) é um campo de pesquisa que procura redefinir conceitos geográficos e sua utilização no contexto dos SIG. A GIScience também examina os impactos dos SIG nos indivíduos e na sociedade, e as influências da sociedade sobre os SIGs. A GIScience reexamina alguns dos temas mais fundamentais de campos tradicionalmente mais orientados ao espaço, como geografia, cartografia e geodésia, ao incorporar os mais recentes avanços das ciências cognitivas e da ciência da informação. Também se sobrepõem e extrai de campos de pesquisa mais especializados, como ciência da computação, estatística, matemática e psicologia, contribuindo para o progresso destes domínios. Ela suporta a pesquisa em ciência política e antropologia, e baseia-se em estudos nos domínios da informação geográfica e da sociedade.” (Mark, 2003)

Contudo, ao contrário dos anos 80 e início dos anos 90, em que haviam artigos descrevendo o projeto de um SIG, à medida que a GIScience foi se estabelecendo como campo de pesquisa, com sua própria agenda (Goodchild, 2008), nos anos 90 e início do século 21, passamos a ter um número mais limitado de artigos publicados sobre o projeto e a evolução da tecnologia SIG. Como é comum em toda tecnologia de software, diversas decisões devem ser tomadas no que diz respeito ao seu projeto. No caso de um SIG isto inclui decisões sobre os modelos de dados, estruturas de dados, métodos de indexação e algoritmos, além do conjunto de funcionalidades analíticas.

Os SIGs atuais, referidos por Câmara et al. (2008) por SIG-20 (SIG do século 20), ainda são muito mais um produto das suas raízes, ligadas à análise de mapas 2D estáticos e de seu considerável sucesso no gerenciamento de recursos naturais e físicos.

Em outras palavras, eles continuam voltados a uma visão mais cartográfica, onde o mapa é o principal modelo utilizado para representação da realidade do mundo, com o foco central na manutenção dos repositórios de dados espaciais (Yuanm e Hornsby, 2008).

Além disso, a maioria das pesquisas de ponta é interdisciplinar, envolvendo problemas que quase sempre caem nas fronteiras de várias áreas da ciência, necessitando conhecimentos, técnicas e ferramentas dessas várias áreas. Isto traz implicações importantes para os SIGs tanto no que diz respeito às pesquisas ligadas a eles quanto no projeto de suas arquiteturas. Este último ponto terá que evoluir, os SIG-21 (SIG do século 21) deverão ser projetados levando-se em consideração os recentes avanços científicos e tecnológicos. Entre eles a possibilidade de realização de processamento de dados distribuídos na web e a nova geração de dispositivos móveis e sensores, capazes de fornecer dados espaço-temporal. Um suporte robusto às dimensões temporal e comportamental, necessário para solução de diversos problemas geo-espaciais, como os relacionados às Mudanças Ambientais Globais, deverá ser incluído para que estes sistemas sejam capazes de atender às demandas de construção de modelos computacionais e para o entendimento da dinâmica dos processos. Novos métodos para extração de informação em fontes de dados cada vez mais massivas e com informações temporais, deverão ser desenvolvidos (Câmara et al., 2008).

Dada a importante demanda por um gerenciamento de dados cada vez mais eficaz pelas aplicações da Ciência da Geo-Informação do século 21, este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de desenvolvimento de uma arquitetura de software para integração de dados em fontes de dados heterogêneas, a fim de dar o suporte necessário a uma GIScience capaz de fazer uso intensivo dos dados. Trata-se de um esforço para construção de uma Engenharia de Geo-Informação (GI-Engineering) do século 21. A Seção 2 apresenta algumas arquiteturas de software para aplicações que realizam acesso a dados que são amplamente utilizadas tanto no desenvolvimento de SIGs quanto sistemas de informação tradicionais. A Seção 3 apresenta o projeto inicial da arquitetura proposta para o desenvolvimento de SIGs-21. Por último, apresentamos as considerações finais do trabalho.

2. Arquitetura de Software para Acesso a Dados

Atualmente existem diversas arquiteturas de software para acesso a dados, que fazem parte tanto do universo mais tradicional de tecnologia da informação quanto dos SIGs. As mais poderosas, no entanto, encontram-se ligadas ao setor de desenvolvimento de sistemas privados, como Oracle, IBM e Microsoft. A seguir analisamos aquelas que são mais relevantes dentro do escopo do trabalho.

2.1. GDAL/OGR

A GDAL (<http://www.gdal.org/>) é, essencialmente, uma biblioteca de software livre (licença ao estilo X/MIT) escrita em C++ para manipulação de imagens geo-espaciais. Ela fornece um modelo abstrato que define a interface de programação para que as aplicações manipulem os vários formatos de imagens (Figura 1a). Ainda dentro do projeto GDAL, existe um módulo conhecido por OGR (<http://www.gdal.org/ogr>) que fornece um modelo abstrato para acesso a dados no formato vetorial, suportando vários formatos conhecidos, entre eles, ESRI Shapefiles, PostGIS, Oracle Spatial, e Mapinfo mid/mif (Figura 1b).

Tanto na API matricial (Figura 1a) quanto vetorial (Figura 1b), não existe suporte para criação de estruturas de agregação de mais alto nível capaz de facilitar a criação de novas visões sobre o mesmo conjunto de dados. No caso da OGR, o conceito de *Layer* materializa a estrutura de agregação máxima, mas num nível equivalente ao conceito de tabela do mundo relacional. Além disso, as duas APIs fornecem estruturas diferentes para referenciar uma fonte de dados. Em relação à parte de processamento de consultas, a API da OGR é bem limitada e, praticamente, dependente dos dialetos de SQL dos *drivers* nativos das fontes de dados, pois não existe uma estrutura capaz de representar uma consulta em um nível mais alto, por exemplo, através de um objeto que encapsule uma consulta SQL. Outro ponto importante é a capacidade de representar a estrutura da fonte de dados subjacente. No caso da OGR, as classes utilizadas para descrever um *Layer* não possibilitam capturar estruturas mais sofisticadas como as possíveis em documentos XML (tipos complexos) e, conseqüentemente, em documentos GML.

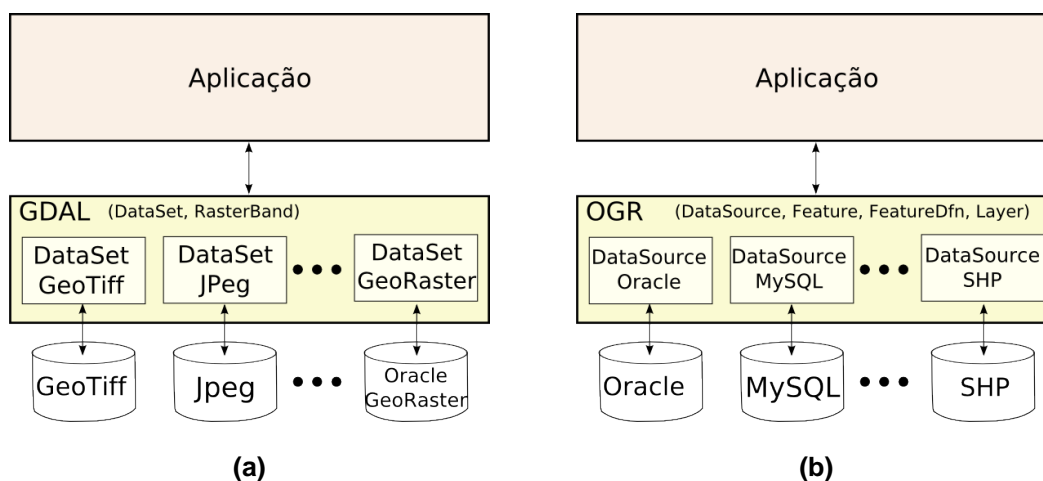


Figure 1. GDAL e OGR

2.2. Object/Relational Mapping

O mapeamento Objeto/Relacional (*Object/Relational Mapping – ORM*) é, ao mesmo tempo, uma metodologia e um mecanismo que vem sendo amplamente utilizado na indústria de desenvolvimento de sistemas de informação para facilitar o mapeamento entre os dados em um banco de dados relacional e o modelo de objetos das aplicações (Figura 2). Em geral, o mapeamento mostrado na Figura 2 é realizado mediante o uso de arquivos (XML) para estabelecer a relação entre os atributos da base relacional e dos objetos na aplicação. Além disso, as implementações ORM cuidam dos detalhes mais internos da persistência e recuperação dos dados nas fontes de dados e de problemas de concorrência no uso das conexões com os SGBDs. Este último ponto é muito importante nas aplicações web, que são inerentemente *multi-thread*, e logo são mais sensíveis a estes problemas de concorrência por recursos do servidor de banco de dados.

Esta idéia foi inicialmente materializada num projeto de software livre no mundo Java, o Hibernate (Bauer e King, 2005), iniciado em 2002 e, atualmente, dispõe de uma versão para a plataforma .NET da Microsoft, chamada Nhibernate. Um ponto importante deste tipo de arquitetura é a forma de recuperação dos objetos, que pode ser feita usando-se pelo menos três mecanismos:

1. Através de dialetos SQL, como a HQL (Hibernate Query Language);
2. Através de QBC (Query-By-Criteria) e QBE (Query-By-Example): API orientada a objetos que permite criar um objeto representando a restrição a ser aplicada em um comando de pesquisa à base de dados;
3. Através do dialeto nativo que ainda possibilita ao desenvolvedor tirar o máximo proveito de uma fonte dados caso seja necessário uma característica especial.

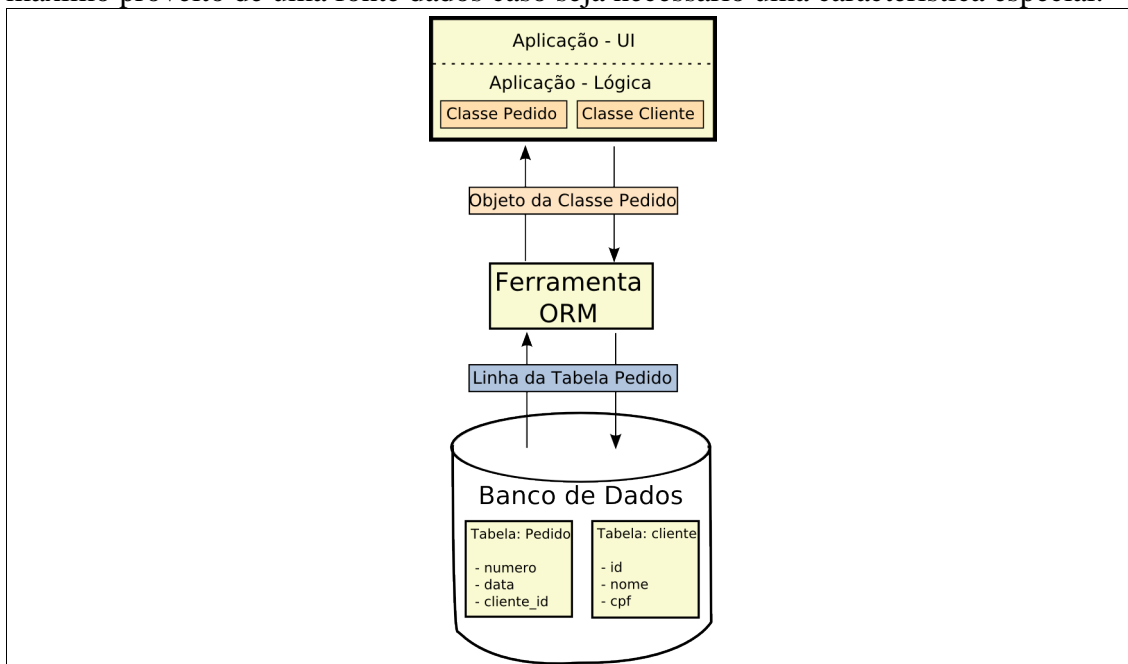


Figure 2. Esquema do Mapeamento Objeto-Relacional

2.3. Microsoft ADO.NET Entity Framework

A tecnologia de acesso a dados da Microsoft é conhecida por ADO.NET. Ela se baseia na idéia de *providers* que são componentes que sabem como realizar a comunicação com as fontes de dados. Mais recentemente, foi integrada a esta tecnologia, o ADO.NET *Entity Framework*, uma camada acima da API ADO.NET, com o intuito de facilitar ainda mais o desenvolvimento de aplicações, fornecendo-se um nível maior de abstração para o desenvolvedor, do que as tabelas do modelo relacional (Adya et al., 2007; O'Neil, 2008). A Figura 3 mostra a arquitetura deste *framework*, que inclui entre outras características:

- modelo de dados conceitual, chamado de Entity Data Model (EDM), com base no modelo Entidade-Relacionamento (Chen, 1976);
- Uma linguagem de manipulação de dados (DML) chamada Entity SQL, para realização de consultas e atualizações do EDM, e uma representação de uma consulta no nível de programação (*canonical command trees*) para comunicar com os diferentes *providers*;
- Habilidade para definir um mapeamento entre o esquema conceitual e o lógico.

Conforme apontado por Adya et al. (2007), esta solução é voltada para sistemas de bancos de dados relacionais, havendo uma previsão futura da incorporação de outros

tipos de fontes de dados diferentes dos sistemas relacionais, além de serviços web. Em uma rápida análise, esta arquitetura facilita bastante o casamento entre a aplicação e a organização lógica dos dados segundo o modelo relacional, ao fornecer um nível de abstração conceitual intermediário (EDM). Assim, o programador não tem que cuidar de todos os detalhes da recuperação e atualização dos dados no repositório, programando num nível de abstração muito mais alto e mais próximo dos conceitos da sua aplicação final. Além disso, o uso da árvore canônica na interface dos *providers* permite a criação de uma linguagem de consulta e manipulação de mais alto nível (eSQL ou LINQ) que possa ser traduzida adequadamente para as diversas fontes de dados.

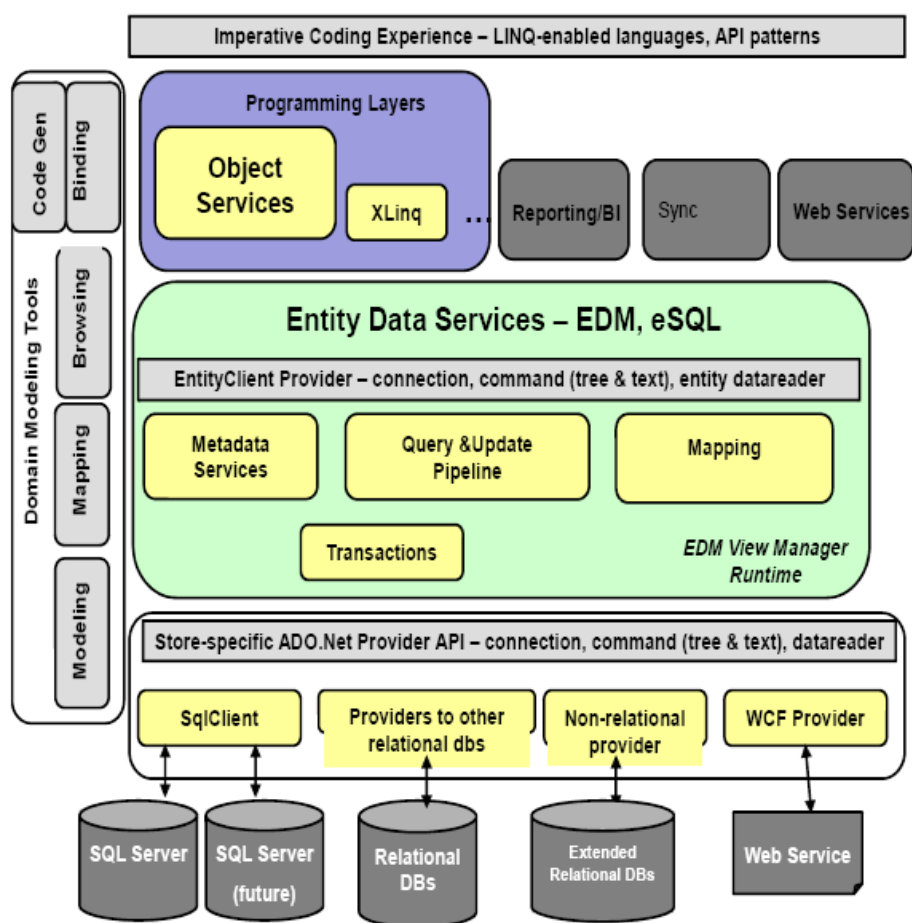


Figure 3. Arquitetura do Entity Framework

Fonte: Adya et al. (2007)

3. TerraLib 5.0: SUPPORTING DATA-INTENSIVE GISCIENCE

A TerraLib (Câmara et al., 2008) foi concebida como um ambiente para pesquisa e desenvolvimento de inovações tecnológicas na área de Geo-Informática. Do ponto de vista de pesquisa, ela serve de suporte à comunidade científica para o desenvolvimento e validação de suas teorias. Ela se tornou a base de diversos sistemas institucionais como TerraView, TerraAmazon, SISMADEN e TerraME. E outras instituições também têm apostado em seu potencial, fazendo parte da sua rede de colaboradores, como é o caso das Forças Armadas Brasileiras através do Exército (MIND), da Fundação de Aplicações e Ciências Espaciais (FUNCATE), PUC/TecGraf, empresas privadas na área de saneamento (NEXUS), prefeituras e até mesmo na parte de políticas públicas (MDS,

MCID, FIOCRUZ, DATASUS, MS).

Este trabalho se encontra vinculado ao projeto TerraLib, fornecendo subsídios técnicos e científicos na elaboração da sua nova plataforma de software chamada TerraLib 5.0 (TerraLib-Team, 2009) e dos aplicativos do INPE construídos sobre esta base tecnológica. A arquitetura descrita neste trabalho contribui para a evolução da TerraLib dando o suporte necessário ao projeto, implementação, testes e publicações de novas estruturas e mecanismos necessários ao desenvolvimento de aplicativos geográficos inovadores e de uma GIScience que faz uso intensivo de dados. A Figura 4 mostra uma visão detalhada do projeto conceitual da arquitetura proposta.

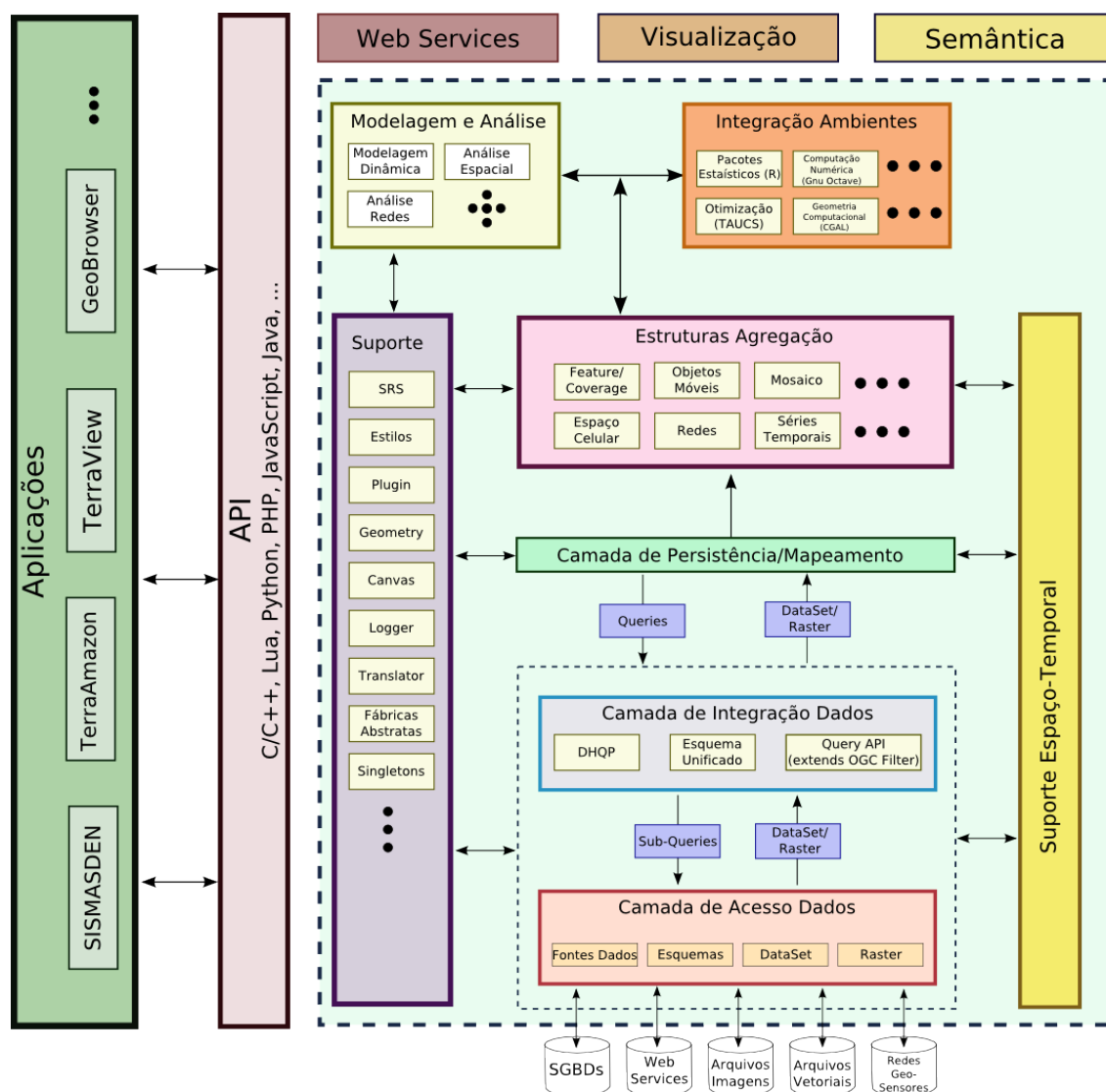


Figure 4. Arquitetura Conceitual da Plataforma TerraLib 5

A seguir descrevemos brevemente os grandes blocos conceituais relevantes ao trabalho:

- *Camada de Acesso a Dados*: é a parte de mais baixo nível da arquitetura, responsável por fornecer um acesso universal aos diferentes tipos de fontes de dados. Uma fonte de dados pode ser um sistema de bancos de dados (Ex: PostgreSQL, MySQL ou Oracle), um ou mais arquivos em formatos

proprietários (ex: shapefile da ESRI), arquivos XML (GML), arquivos de imagens (ex: GeoTIFF, Jpeg), serviços web de dados (WFS, WMS e WCS) ou fontes não tradicionais como redes de geo-sensores, páginas web com informações geográficas (ex: Facebook e Orkut) e protocolos básicos de dispositivos móveis. Portanto, esta camada fornece uma API padrão para que as aplicações possam acessar essas variedades de fontes de dados sem ter a necessidade de escrever um código específico para cada uma delas. Pode-se pensar nela como algo semelhante às APIs JDBC de Java, ADO .NET ou GDAL/OGR, mas com características que vão além delas, devido à necessidade de possibilitar a criação de novos tipos de dados e operadores, ou álgebras como a Espaço-Temporal, nos níveis mais altos da arquitetura. Neste nível da arquitetura encontram-se as estruturas de manipulação de dados mais atômicas, não representando diretamente fenômenos geoespaciais, mas o suporte de acesso aos seus dados.

- *Camada de Integração de Dados*: responsável por fornecer a capacidade de trabalhar com dados provenientes de diversas fontes heterogêneas, de uma maneira mais uniforme e simples. Ela fornece um esquema unificado para a aplicação, de forma que as várias fontes de dados são abstraídas do programador ou usuário. Seu trabalho depende da camada de Acesso a Dados, no que diz respeito à tradução de um dialeto universal de acesso e consulta para os dialetos nativos, específicos de cada tipo de fonte. O grande desafio desta camada, que a diferencia das demais tecnologias disponíveis atualmente, é que ela deve também permitir a criação de novos tipos de dados e operadores (ou álgebra) a serem incorporados no seu dialeto de consulta. Isto possibilita, por exemplo, criar um tipo de dados chamado MovingPoint e as operações sobre ele, bem como a sua persistência nas fontes de dados. Também poderemos fornecer uma linguagem procedural através do uso de Linguagens de *script* como Lua e PHP, embutidas na plataforma.
- *Camada de Persistência/Mapeamento*: fornece mecanismos que facilitam a programação e o mapeamento das estruturas de agregação para as camadas de Acesso e Integração logo abaixo. Isto quer dizer, que ela será responsável por mapear os dados nas diversas fontes de dados para as diferentes visões que os usuários ou programadores irão impor ao problema e vice-versa. Pode-se pensar nesta camada como o equivalente do mapeamento objeto-relacional feito pelas tecnologias EDM ou ORM, mas no domínio geográfico.
- *Camada de Estruturas de Agregação*: responsável por fornecer um mecanismo extensível capaz de introduzir novas representações de alto nível, que ajudem a organizar os dados e assim produzir diferentes visões para estes. Como exemplos de tais representações têm-se: Espaço Celular, Fenômenos Geográficos na forma de objetos (Feature) ou campos (Coverage), Redes Geográficas, Mosaico de Imagens, Séries Temporais e Objetos Móveis. Estas estruturas são fundamentais para aplicações que lidam com a criação de modelos computacionais e manipulação de dados espaço-temporal.

Esta arquitetura apresenta uma grande evolução em relação à arquitetura da

TerraLib 3.X (Câmara et al., 2008). No que diz respeito à camada de acesso é possível explorar melhor os recursos das fontes de dados, capturar com maior facilidade a representação dos dados sobrejacentes às fontes além do maior potencial de extensibilidade oferecido. As demais camadas, de integração de dados e de persistência e mapeamento, ausentes na TerraLib 3.X, também representam um grande avanço no sentido de facilitar o desenvolvimento de aplicações que fazem uso intensivo de dados provenientes de diversas fontes de dados. Além disso, no geral, esta arquitetura é mais modular que anterior.

4. Considerações Finais

As quatro camadas listadas na seção anterior são fundamentais para atender às demandas de gerenciamento de dados dos aplicativos geográficos do século-21. Porém, são muitos os desafios de se conseguir um projeto que leve a uma implementação robusta, pois temos a tarefa de tornar as camadas ao mesmo tempo extensíveis e eficientes. Isto não é nada fácil de conseguir diante de: (a) o volume de dados, (b) a quantidade de memória usada até mesmo por elementos e primitivas básicas neste tipo de sistema, (c) as grandes diferenças entre as fontes de dados e (d) a necessidade de permitir a introdução de novos tipos de dados e operadores (ou álgebras) que se materializem nessas várias fontes de dados e ao mesmo tempo passem a fazer parte da API das camadas de Acesso a Dados e de Integração de Dados.

A arquitetura de software mostrada neste trabalho contempla vários aspectos de engenharia que vão além das especificações de interoperabilidade propostas pelo Open Geospatial Consortium (OGC, 2009). Nossa expectativa é que esta nova plataforma torne o trabalho dos desenvolvedores mais fácil e possibilite uma exploração mais eficaz de dados de geo-sensores, dispositivos móveis e bancos de imagens gerados por constelações de satélites de sensoriamento remoto.

Além disso, espera-se a construção de aplicativos que façam melhor uso de metadados e ontologias, dada a quantidade de padrões estabelecidos e o movimento das organizações no sentido de colocá-los em prática e que a capacidade de realização de Análise e Modelagem de problemas mais complexos seja aumentada através de uma melhor integração com outros ambientes computacionais como os estatísticos (R), de modelagem matemática e computação numérica (Gnu Octave) e de pesquisa operacional (TAUCS e GAUL).

Referências Bibliográficas

- Adya, A.; Blakeley, J. A.; Melnik, S.; Muralidhar, S.; ADO.NET Team. Anatomy of the ADO.NET Entity Framework. ACM SIGMOD, June 12–14, 2007.
- Bauer, C.; King, G. Hibernate in Action. MANNING, 2005.
- Câmara, G.; Vinhas, L.; Davis, C.; Fonseca, F.; Carneiro, T. Geographical Information Engineering in the 21st Century. Proceedings of the Colloquium for Andrew U. Frank's 60th Birthday. GeoInfo 39. Department of Geoinformation and Cartography, Vienna University of Technology, 2008.
- Câmara, G.; Vinhas, L.; Ferreira, K. R.; Queiroz, G. R.; Souza, R. C. M.; Monteiro, A. M. V.; Carvalho, M. T.; Casanova, M. A.; Freitas, U. M. An Open Source GIS Library for Large-scale Environmental and Socio-economic Applications. In. Open Source Approaches to Spatial Data Handling. Berlin, Springer-Verlag, 2008.

- Chen, P. P. The entity-relationship model – toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, v.1 n.1, p.9-36, March 1976.
- DPI. Manual do TerraView. Disponível em: <http://www.terralib.org/terraview>. Acesso em: Outubro de 2009.
- Goodchild, M. F. Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems* 6 (1) : 31–45. Reprinted in P.F. Fisher, editor, *Classics from IJGIS: Twenty years of the International Journal of Geographical Information Science and Systems*. Boca Raton: CRC Press, pp. 181–198, 1992.
- Goodchild, M. F. Geographic Information Science: The Grand Challenges. In J.P. Wilson and A.S. Fotheringham, editors, *The Handbook of Geographic Information Science*. Malden, MA: Blackwell, pp. 596–608, 2008.
- Gray, J.; Liu, D. T.; Nieto-Santisteban, M.; Szalay, A.; DeWitt, D. J.; Heber, G. Scientific Data Management in the Coming Decade. *SIGMOD Record*, Vol. 34, No. 4, Dec. 2005.
- Mark, D. M. Geographic information science: Defining the field. In Duckham M, Goodchild, M. F., and Worboys, M. F. (eds) *Foundations of Geographic Information Science*. New York, Taylor and Francis: 3-18, 2003.
- Mark, D. M.; Chrisman, N.; Frank, A. U., McHaffie, P. H.; Pickles, J. The GIS History Project. Disponível em: http://www.ncgia.buffalo.edu/gishist/bar_harbor.html. Acesso em: Outubro, 2009.
- NASA. Landsat Then and Now. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov>. Acesso em: Outubro, 2009.
- OGC. OpenGIS® Standards and Related OGC documents. Disponível em: <http://www.opengeospatial.org/standards>. Acesso em: Outubro, 2009.
- O’Neil, E. Object/Relational Mapping 2008: Hibernate and the Entity Data Model (EDM). *ACM SIGMOD*, June 9–12, 2008.
- Reis, I, A. Redes de Geo-Sensores: Roteamento, Armazenamento e Análise de Dados. Exame de Qualificação do curso de Doutorado em Sensoriamento Remoto - INPE, S. J. Campos, 43 p., 2005.
- Rudorff, B. F. T.; Shimabokuro, Y, E.; Ceballos, J. C. O Sensor Modis e Suas Aplicações Ambientais no Brasil. Editora Parêntese, 2007.
- Szlavec, K.; Terzis, A.; Ozer, S.; Musaloui-E, R.; Cogan, J.; Small, S.; Burns, R.; Gray, J.; Szalay, A. Life Under Your Feet: An End-to-End Soil Ecology Sensor Network, Database, Web Server, and Analysis Service. 3rd Workshop on Embedded Networked Sensors, EmNets 2006.
- TerraLib-Team. The Design and Implementations of TerraLib 5. In press... Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/terralib5/wiki>. Acesso em: Outubro, 2009.
- Yuanm M.; Hornsby, K. S. Computation and visualization for understanding dynamics in geographic domains - a research agenda. EUA: Taylor & Francis, CRC Press, 112 p., 2008. ISBN: 1-4200-6032-5.