

Sistemas de Informação Geográfica Móveis orientados ao contexto: uma abordagem baseada em ontologias de domínios

**Anderson Resende Lamas, Jugurta Lisboa Filho,
Alcione de Paiva Oliveira, André Marques Lopes**

Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Informática
Viçosa, MG, Brasil – CEP: 36570-000

{andersonlamas, jugurta}@ufv.br, {alcione, marques}@dpi.ufv.br

***Abstract.** This article presents a Mobile Geographic Information System (Mobile GIS) development, that allows customized queries to a Geographic Database using a mobile device such as PDA or Smartphone. This personalization was implemented through a mechanism that uses ontologies to define SQL language querying. Moreover, a set of WebServices had been developed to minimize the limitations of the mobile devices in processing and memory terms.*

***Resumo.** Este artigo apresenta o desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfica Móvel (SIG Móvel) que permite a realização de consultas personalizadas a um banco de dados geográfico através do uso de um dispositivo móvel como um PDA ou um Smartphone. Esta personalização foi implementada através de um mecanismo que utiliza ontologias para definir uma consulta na linguagem SQL. Além disso, foi desenvolvido um conjunto de WebServices para minimizar as limitações dos dispositivos móveis em termos de processamento e memória.*

1. Introdução

O crescente uso de dispositivos móveis, tais como PDA's (*Personal Digital Assistant*) e *Smartphones*, associado à grande difusão de dados geo-espaciais, fez com que surgisse mais um campo de aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Este campo tem sido chamado de SIG Móveis, o qual segundo [Solyman, 2007], pode ser definido como uma estrutura que integra hardware e software para acesso a dados espaciais através de uma rede sem-fio, utilizando-se dispositivos móveis.

O desenvolvimento de aplicações de SIG Móveis tem pelo menos dois grandes desafios. O primeiro deles é a capacidade limitada dos dispositivos móveis, o que inclui pouco espaço para armazenar dados, baixo poder de processamento, telas pequenas e a baixa largura de banda da rede sem-fio [Caduff & Egenhofer, 2005]. Estes fatores impedem, por exemplo, que o dispositivo armazene localmente uma grande quantidade de dados ou mesmo que possa processá-los e dar a resposta em um tempo adequado.

O segundo desafio diz respeito à expectativa que a mobilidade cria no usuário, que é a personalização de informações e serviços de acordo com suas necessidades individuais [Weibenberg et. al., 2006]. Isto significa que o usuário espera manter em seu

dispositivo móvel somente as informações que estejam relacionadas à localidade em que ele se encontra, ou mesmo à determinadas atividades que ele esteja realizando.

Uma solução para a personalização de dados em SIG tem sido a adoção de ontologias. Ontologias podem ser usadas para especificar "um conjunto de termos e relações que compreendem o vocabulário de uma área, além de um conjunto de regras para combinar estes termos e relações, as quais permitem a definição de extensões deste vocabulário" [Novello, 2007].

O trabalho apresentado em [Araujo, 2005] apresenta um bom exemplo de como o uso de ontologias pode enriquecer um processo de busca de informações. Ele apresenta o aplicativo "Geogle", o qual permite que um usuário pesquise por informações de forma textual ou através de uma base de conhecimento formada por ontologias. É visível como o uso de ontologias permite obter resultados mais amplos e precisos. Há ainda os trabalhos desenvolvidos por [Sadeh, 2003] e [Toivonen, 2003] que modelam através de ontologias o contexto em que um usuário de um dispositivo móvel está inserido. Isto permite fornecer informações mais adequadas de acordo com variáveis como localização e tempo. Nesta mesma linha, porém bem mais ambicioso, há ainda o trabalho apresentado em [Weibenberg, 2006], no qual é descrito o sistema "FLAME2008", o qual busca modelar além do contexto, as atividades que o usuário esteja realizando naquele momento, o que foi denominado pelo autor como "situação do usuário". Este sistema está sendo desenvolvido para uso nas Olimpíadas de Pequim em 2008.

Ao se definir um conjunto de ontologias para uma variedade de domínios, cria-se uma base de conhecimento. Esta base pode ser utilizada para realizar consultas em um banco de dados geográfico, como é apresentado em [Viegas, 2006]. As ontologias podem ser utilizadas para filtrar ou inferir quais dados viriam como resposta a uma consulta feita pelo usuário de uma aplicação de SIG Móvel, retornando assim resultados personalizados.

Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma aplicação de SIG móvel para a realização de consultas personalizadas sobre um banco de dados geográfico. Na seção 2 são detalhados alguns conceitos relacionados a SIG Móveis e ontologias. Já na seção 3 é apresentada a arquitetura definida para a construção do SIG Móvel. Na seção 4 é descrita a aplicação UFV-GeoMobile, construída para validar a arquitetura definida na seção 3. Por fim, na seção 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2. Sistemas de Informações Geográficas Móveis e Ontologias

Nesta seção são descritos alguns conceitos necessários para a correta compreensão dos termos descritos neste trabalho.

2.1 Sistemas de Informações Geográficas Móveis

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são definidos como sistemas computacionais capazes de capturar, modelar, armazenar, recuperar, manipular, analisar e apresentar dados geográficos [Worboys & Duckham, 2004]. Seu grande diferencial em relação aos Sistemas de Informação convencionais é a sua capacidade de integração de dados alfanuméricos com dados referenciados geograficamente.

Segundo [Casanova et. al., 2005], dentre os modelos formais para representação de dados geográficos, distinguem-se dois tipos principais: o modelo de geo-campos e o modelo de geo-objetos. O modelo de geo-campos considera o espaço geográfico como uma superfície contínua, sobre a qual variam os fenômenos a serem observados. Já o modelo de geo-objetos representa o espaço geográfico como uma coleção de entidades individualizadas distintas, onde cada entidade é definida por uma fronteira fechada.

O desenvolvimento de um SIG está fortemente associado ao uso de Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD). Existem basicamente duas formas de integração entre SIG e SGBD, as quais foram denominadas arquitetura dual e arquitetura integrada [Casanova et. al., 2005].

A arquitetura dual caracteriza-se por armazenar os dados espaciais e os dados alfanuméricos em estruturas separadas. Enquanto os dados alfanuméricos são armazenados em um SGBD relacional, os dados espaciais são armazenados em arquivos com formato proprietário. Já na arquitetura integrada, tanto os dados alfanuméricos quanto os espaciais são armazenados em um único SGBD. O banco de dados utilizado neste caso é chamado de Banco de Dados Geográfico.

O casamento de SIG com as tecnologias móveis deu origem aos Sistemas de Informação Geográfica Móvel (SIG Móvel), os quais são definidos como uma estrutura que integra hardware e software para acesso a dados espaciais através de uma rede sem-fio, utilizando-se dispositivos móveis [Solyman, 2007].

Existem duas áreas de aplicação principais dos SIG Móvel:

- SIG baseado-em-campo, o qual foca na coleta de dados no campo;
- Serviço Baseado em Localização (LBS), o qual se concentra mais em problemas como localização de pessoas e monitoramento de veículos.

De acordo com [Tomko, 2003] o desenvolvimento de aplicações de SIG Móvel requer atenção aos seguintes elementos: (a) armazenamento e retorno de dados armazenados em um banco de dados geográficos; (b) a correta utilização de tecnologias; (c) prover um mecanismo para realização de consultas e acesso a dados localizados remotamente.

2.2. Ontologias

Ontologia é definida como “uma conceitualização formal, explícita e compartilhada de alguma área do conhecimento, também chamado de domínio de discurso” [Uschold & Gruninger, 1996]. Também se pode dizer que uma ontologia consiste de conceitos e relações, com propriedades e restrições descritas sob a forma de axiomas [Duarte & Falbo, 2000].

Existem diversas formas para representação de ontologias, sendo a linguagem RDF (*Resource Description Framework*) a mais utilizada, por ser uma recomendação do W3C. Em RDF, as ontologias são representadas em arquivos XML (*eXtensible Modeling Language*) seguindo um modelo de dados composto de dois objetos básicos [RDF, 2007]:

- Um recurso qualquer identificado por uma URI (*Uniform Resource Identifier*);

- Uma propriedade que define uma relação binária entre recursos.

No entanto, a RDF é mais adequada para o entendimento humano, não sendo adequada para o processamento automático e realização de inferências. Para este caso, foi projetada a linguagem OWL (*Web Ontology Language*) [OWL, 2007] como uma extensão da RDF, também recomendada pela W3C. Durante o processo de modelagem é interessante a utilização de algum editor gráfico, o qual facilita o processo de especificação da ontologia. Um editor que se destaca e que foi utilizado neste trabalho é o Protégé [Protégé, 2007].

Aplicações de ontologias em SIG focam em problemas práticos de definição de um vocabulário comum para descrever um domínio geo-espacial. Este vocabulário pode facilitar a interoperabilidade e diminuir problemas de integração de dados [Fonseca et. al., 2000]. Na Web, já se fala da *Geospatial Semantic Web* [Egenhofer, 2002], que é uma tentativa de trazer semântica aos serviços de busca e integração de dados geo-espaciais.

3. Arquitetura para SIG Móvel

A arquitetura modelada para este sistema foi proposta tendo em vista dois objetivos: (a) definir um mecanismo que não sobrecarregue o dispositivo móvel com dados desnecessários; e (b) que forneça apenas as informações relevantes para o perfil do usuário que esteja utilizando o sistema.

A solução adotada para evitar a sobrecarga no dispositivo móvel foi a construção de *WebServices*, os quais ficam armazenados em servidores mais robustos e realizam as consultas ao banco de dados. Desta forma o dispositivo móvel é apenas um meio para a formulação das consultas e visualização dos dados.

Para a definição de quais dados que são específicos para um determinado perfil de usuário, é utilizado um conjunto de ontologias. Estas ontologias são responsáveis por mapear os termos de uma área de aplicação para os termos utilizados no banco de dados geográfico. Diante destas condições foi definida a arquitetura mostrada na Figura 1.

Na Figura 1 verifica-se a existência do (1) Banco de Dados Geográfico, (2) de uma base de conhecimento formada pelo conjunto de ontologias, (3) de um módulo de mapeamento de consultas das ontologias para o banco de dados geográfico, (4) da definição dos *WebServices* e, por fim, (5) a aplicação de SIG Móvel utilizada pelos usuários.

O banco de dados geográfico é o componente responsável por armazenar os dados geo-espaciais e os dados descritivos de forma integrada. Estes dados podem ser consultados pelo usuário a partir de seu dispositivo móvel. Uma decisão importante é a escolha sobre qual tecnologia a ser utilizada para a implementação deste banco. Uma das alternativas é a utilização do modelo objeto-relacional, por exemplo, do SGBD Oracle 10g espacial [Oracle, 2007] ou o PostGIS [PostGIS, 2007], que é uma extensão para dados espaciais do SGBD PostgreSQL.

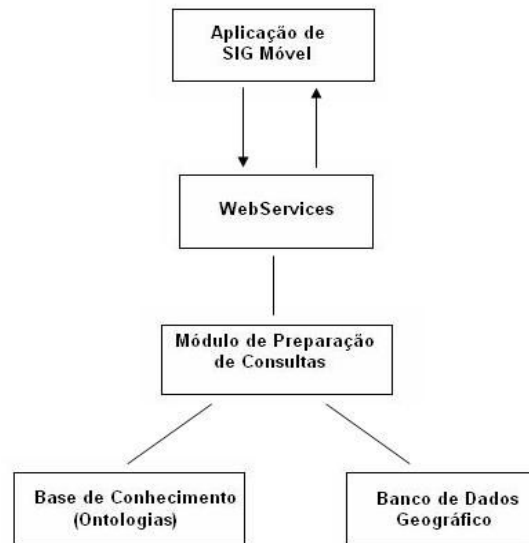


Figura 1 – Arquitetura do SIG Móvel desenvolvido

As ontologias, que neste projeto formam a base de conhecimento para consulta ao banco de dados, têm um papel importante ao modelar os conhecimentos específicos de domínios de aplicação. É fundamental que se definam os termos da ontologia relacionando-os com termos presentes no banco de dados. Por exemplo, uma solução para isto é utilizar os relacionamentos espaciais definidos no modelo 9-Intersection [Egenhofer & Herring, 1991], tais como ‘é um’, ‘cercado por’, ‘intercepta’, dentre outros. O editor Protégé [Protégé, 2007] permite a utilização destes termos durante o processo de especificação das ontologias.

O banco de dados geográfico, a base de conhecimento apoiada em ontologias, e a aplicação de SIG Móvel, possuem ainda um conjunto de características que são específicas da área para a qual se está desenvolvendo o SIG Móvel. O módulo de preparação de consultas e os *WebServices* possuem funcionalidades que são comuns para qualquer domínio em que se esteja trabalhando.

3.1. O módulo de preparação de consultas

O módulo para preparação de consultas tem como função receber alguma solicitação feita pelo usuário, a partir de seu dispositivo móvel, e formatar esta solicitação para realizar uma consulta no banco de dados geográfico. O grande desafio é transformar as necessidades do usuário, contendo termos específicos de um domínio de aplicação, para uma seqüência de comandos SQL.

Baseando-se nos modelos utilizados por [Viegas, 2006] e [Araujo, 2005], a solução adotada para realizar este mapeamento é realizar uma busca nas ontologias, que podem estar definidas na linguagem OWL, localizando as relações dos elementos encontrados com os itens armazenados no banco de dados geográficos. Isto é possível através da utilização de uma API, como a Jena [Jena, 2006].

A API Jena gera um conjunto de grafos em RDF, os quais são representados por recursos, propriedades e literais. Utilizando-se estes termos é possível manipular e

comparar as ontologias a partir dos relacionamentos que foram definidos durante sua implementação. À medida que os termos sinônimos são localizados, incrementa-se uma expressão SQL até que ela esteja completamente definida para realizar alguma consulta a um banco de dados.

3.2. Definição dos WebServices

Os *WebServices* são definidos como uma tecnologia que relaciona os componentes de um sistema em um ambiente distribuído onde são disponibilizados serviços que podem ser acessados dinamicamente através de uma rede [Amorim, 2004 apud Silva, 2004]. Esta tecnologia propõe a exposição das transações e das regras de negócios por meio de protocolos que podem ser acessados e entendidos por qualquer linguagem de programação, em qualquer sistema operacional, rodando em qualquer dispositivo [Costa, 2002 apud Silva, 2004].

Os *WebServices* construídos neste projeto utilizam um conjunto de funções que recebem como parâmetro o domínio ontológico escolhido e a consulta em forma textual. Estes dados são repassados para o módulo de preparação de consulta, o qual faz todo o processo de transformação e obtenção dos dados, que são finalmente retornados para o usuário do aplicativo do SIG Móvel.

Graças a esta capacidade que os *WebServices* possuem de integrar variados ambientes é que foi proposta sua utilização nesta arquitetura. Desta forma foi possível realizar operações que demandam um grande poder de processamento, sem haver a exigência de que tudo fosse implementado no dispositivo móvel.

4. UFV-GeoMobile: uma aplicação SIG Móvel para o Campus da UFV

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) é uma instituição pública de ensino superior, cujo principal *campus* está localizado na cidade de Viçosa-MG. A UFV oferece diversos cursos de graduação e pós-graduação, em diversas áreas do conhecimento. Anualmente recebe um grande volume de pessoas que visitam ou que estabelecem algum vínculo com o seu *campus*. Dentre estas pessoas estão os novos estudantes (~2000 por ano), participantes de congressos, pesquisadores visitantes, ou simplesmente pessoas que desejam visitar suas dependências. Além destas pessoas existem também os que já possuem alguma ligação com a Universidade, tais como professores, servidores ou ainda os estudantes egressos. Um ponto em comum entre estes diversos indivíduos é que muitas vezes eles têm dificuldades em identificar lugares ou serviços no *campus*, dada sua grande extensão territorial e à velocidade com que surgem novas construções e instalações diversas.

Considerando este cenário, verifica-se que o mesmo é ideal para a implementação de um aplicativo que valide a arquitetura para o SIG Móvel proposto neste trabalho. Seria interessante que houvesse uma fonte prática e automatizada para o usuário buscar informações sobre o *campus*. Seria ainda mais adequado que os termos e as opções de consultas fossem específicas para o perfil do usuário que queira ter acesso aos dados. Como exemplo, pode-se dizer que para um turista seja mais comum o termo “prédio” do que “departamento”. Além disso, um turista certamente não quer saber qual o horário da próxima aula.

Diante desta realidade foi implementado o aplicativo UFV-GeoMobile, o qual permite que usuários de dispositivos móveis possam realizar consultas personalizadas a um banco de dados geográfico que contém informações sobre a UFV. A modelagem do banco de dados geográfico, o conjunto de ontologias definidas para o *campus*, bem como algumas interfaces do aplicativo desenvolvido são descritos nas subseções que se seguem.

4.1. Definição do repositório de dados geográficos

A base de dados foi construída a partir da junção de um conjunto de dados geográficos, mantidos pela administração da UFV, associados a um conjunto de bases relacionais utilizadas por uma variedade de sistemas administrativos, também mantidos pela instituição. Os dados geográficos foram alterados para se adequarem aos formatos de dados manipulados pelo aplicativo de SIG Móvel. Inicialmente os dados estavam armazenados no formato do sistema AutoCad e foram convertidos para o formato *Shapefile*. As informações foram divididas em logradouros, construções e um conjunto de pontos para mapear instalações específicas dentro de uma construção.

A modelagem conceitual do banco de dados, elaborada com base no modelo UML-GeoFrame [Lisboa Filho & Iochpe, 2007], que é um modelo específico para bancos de dados geográficos, está mostrada na Figura 2.

No diagrama da Figura 2 pode-se observar que o sistema possui classes com e sem representação espacial. De acordo com o modelo UML-GeoFrame, as classes e subclasses Funcionário, Professor, Técnico Administrativo, Órgão, Evento e Tipo de Instalação são especializações de ObjetoNãoGeográfico (\triangle), ou seja, não possuem representação espacial. As classes Construção, Logradouros e Instalação são percebidas na visão de objetos (\triangle) e possuem representação espacial do tipo Área, Ponto, Linha e Ponto, respectivamente. Por fim, as classes ImagemAérea e CurvaDeNivel são percebidas na visão de campo (\triangle). A primeira possui representação espacial do tipo GradeDeCélulas (\square), enquanto a segunda possui representação do tipo Isolinhas (\square).

As instalações, representadas no diagrama da Figura 2, mapeiam um conjunto de informações que podem ser obtidas sobre a UFV. Elas podem ser de vários tipos como restaurante, supermercado, farmácia, bancos, papelaria, etc. Podem também ser algum laboratório ou ainda a representação de algum órgão da instituição, que por sua vez, pode ser um órgão da administração superior, um órgão técnico-administrativo ou um órgão vinculado.

As representações espaciais das instalações, juntamente com seus dados descritivos, são os itens utilizados para a realização de consultas ao banco de dados geográficos, e para exibir as informações resultantes para os usuários. Este modelo foi implementado utilizando-se o SGBD PostGreSQL com sua extensão espacial PostGIS.

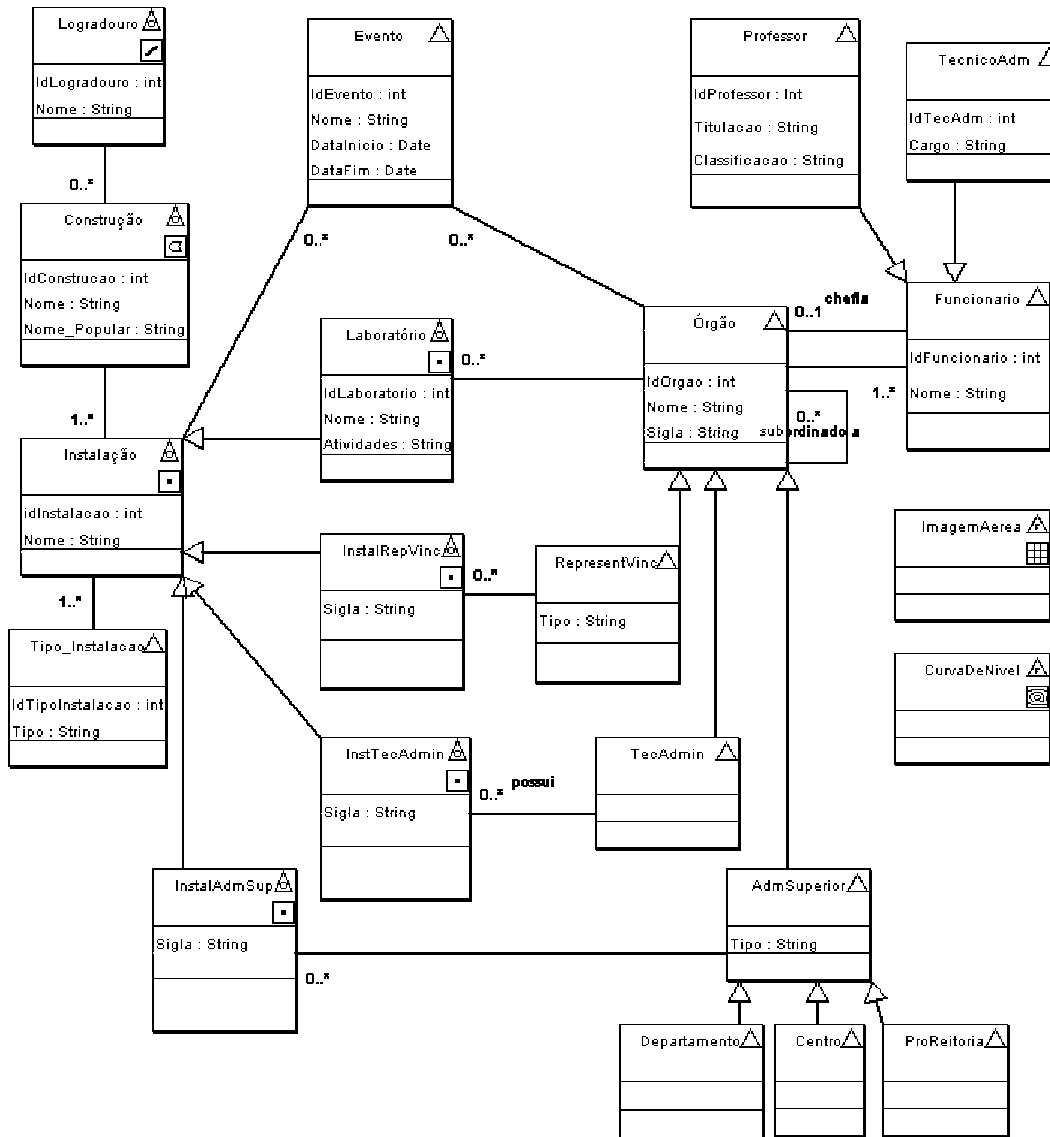


Figura 2 – Modelagem do banco de dados geográfico para o UFV-GeoMobile

4.2. A base de conhecimento ontológico

Para que as consultas à base de dados funcionem corretamente é fundamental que as ontologias estejam definidas de forma mais completa e adequada possível. Para o caso da aplicação UFV-GeoMobile foram definidas três ontologias: Ontologia Acadêmica, Ontologia Administrativa e Ontologia de Turismo.

A Ontologia Acadêmica (OntAcad) trata das interações que ocorrem no dia-a-dia de uma universidade, especificando mais os termos relacionados ao ensino, pesquisa e extensão. Contempla elementos como professores, alunos, disciplinas e locais de aula.

A Ontologia Administrativa (OntAdm) trata de questões ligadas a estrutura hierárquica da Universidade, incluindo a reitoria, pró-reitorias, centros de ciências, departamentos, cursos, órgãos vinculados e lotações de funcionários.

Já a Ontologia de Turismo (OntTur) trata das atividades que podem ser desenvolvidas por um turista no *campus*, além de especificar quais os termos são mais adequados para um indivíduo que não conhece a nomenclatura adotada internamente no *campus*.

A Figura 3 exibe parte da OntTur. Nela pode-se identificar que o *campus* é formado por prédios e áreas abertas. Cada prédio é cercado por uma área aberta, a qual pode ser um estacionamento, um jardim ou um parque. Cada prédio oferece serviços, os quais estão divididos em alimentação, museus e bancos. Nos prédios podem ocorrer eventos, sejam eles congressos, reuniões ou mesmo uma comemoração.

4.3. Interface gráfica no dispositivo móvel

O protótipo foi desenvolvido através do *framework* Microsoft Visual Studio 2003, utilizando a linguagem C#.NET. Utilizou-se durante o desenvolvimento o emulador Pocket PC 2003. Para a visualização dos dados geo-espaciais foi utilizado o software Map Suite Pocket PC, o qual consiste em um conjunto de controles baseados na plataforma .NET para construção de aplicativos de SIG em dispositivos móveis [Mapsuite, 2007].

Para a utilização do aplicativo, inicialmente o usuário escolhe em qual contexto de informações está interessado: estrutura acadêmica, administrativa ou turística. Após este passo é definida uma tela inicial de consulta contendo os termos e imagens mais adequadas para o tipo de informações que foi escolhido.

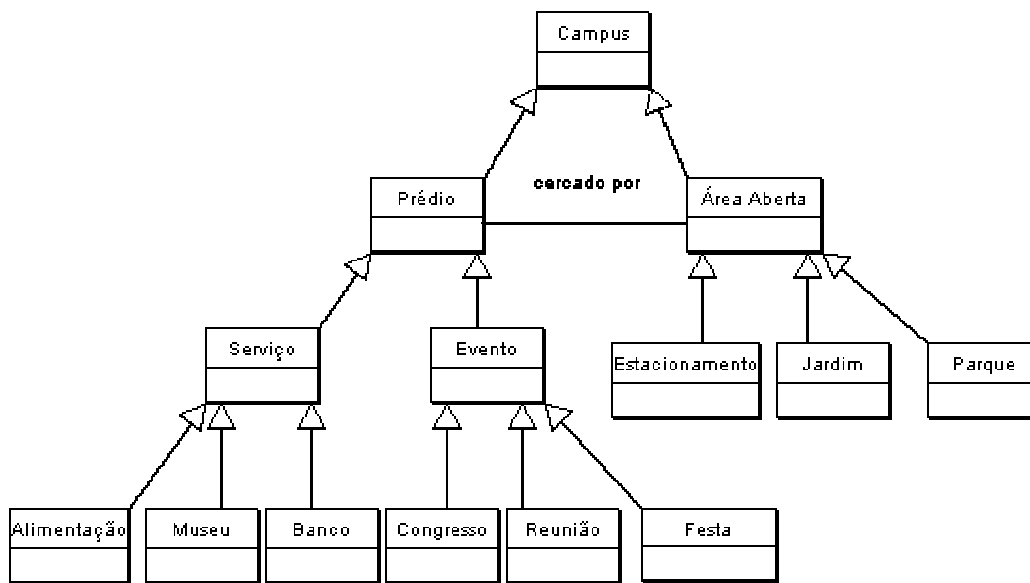


Figura 3 – Ontologia de Turismo para o UFV-GeoMobile

A Figura 4-a ilustra a tela inicial do sistema exibindo os dados geográficos de construções, logradouros e algumas instalações. Nesta tela também estão disponíveis

alguns itens para navegação como *zooms*, arrastar, além de um botão de informações. Este botão permite o clique sobre um dos pontos exibidos, fazendo com que alguns dados descritivos se abram em outra tela.

Para exemplificar o processo de mapeamento dos termos representados nas ontologias com os itens definidos no banco de dados geográfico, suponhamos que um turista utilize seu dispositivo móvel e faça a seguinte consulta: “localizar um restaurante que tenha um estacionamento em suas proximidades”. O mapeamento desta consulta será feita através da OntTur. Inicialmente o termo “restaurante” será mapeado como um “serviço”. “Serviço” equivale ao termo “instalações” no banco de dados. Já o termo “estacionamento” está relacionado a uma “área aberta”. Este item está mapeado no banco de dados como “edificações”. Por fim o termo “em suas proximidades” indica o relacionamento espacial “distance” entre os termos presentes no banco de dados, que neste caso convencionou-se menor que 20 metros. Desse modo chega-se à seguinte consulta em SQL:

```
SELECT i.id, i.nome
FROM edificacoes e, instalacoes i
WHERE distance ( e.the_geom, i.the_geom ) < 20;
```

A Figura 4-b exibe a resposta a esta consulta feita pelo usuário, na qual se percebe uma filtragem dos pontos exibidos de acordo com as informações que se deseja obter.

5. Conclusões

Armazenar o conhecimento associado a um conjunto de dados geográficos talvez seja tão importante quanto armazenar os próprios dados. Isto é fundamental para que um usuário realize consultas e obtenha como resposta somente as informações que estejam mais adequadas ao seu contexto. Se considerarmos as aplicações que estejam no âmbito de um SIG móvel, isto se torna ainda mais importante, dado que esta mobilidade implica em exigências muito maiores por parte dos usuários.

Alguns trabalhos já realizaram experiências bastante satisfatórias em relação à utilização de bases de conhecimento associadas a dados geográficos. O trabalho apresentado em [Viegas, 2006] é um bom exemplo, no qual é criada uma estrutura para consultas ontológicas através de um ambiente Web. De qualquer forma, a criação de uma estrutura em um ambiente de SIG Móvel é algo ainda pouco explorado e que apresenta muitos desafios.

Adicionar uma base de conhecimento, apoiada em ontologias, a uma aplicação de SIG móvel permite agregar valor semântico às consultas dos usuários. Este fator pode ser fundamental como forma de melhorar o uso, além de contribuir para o crescimento das tecnologias de SIG móvel.

Agradecimentos

Projeto parcialmente apoiado com recursos da FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.



Figura 4 – Telas do UFV Mobile

Referências

- ARAÚJO, M. A. *Web Services na Informação Geográfica*. Dissertação (Mestrado em Informática). Universidade do Minho, Portugal. 2005.
- CADUFF, D.; EGENHOFER, M. J. *Geo-Mobile Queries: Sketch Based Queries in Mobile Environments*. W2GIS. 2005.
- CASANOVA, M. et al. *Bancos de Dados Geográficos*. Brasil, MundoGeo, 2005. 506 p.
- DUARTE, K.; FALBO, R. A. *Uma Ontologia de Qualidade de Software*. Anais do VII Workshop de Qualidade de Software, XIV Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, João Pessoa, 2000.
- EGENHOFER, M. J.; HERRINGER, J. *Categorizing Binary Topological Relations Between Regions, Lines, and Points in Geographic Databases*. University of Maine, Orono, 1991. (Technical Report)
- EGENHOFER, M. J. *Toward the Semantic Geospatial Web*. In Proceedings of the Tenth ACM Int'l Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS'02), McLean, VA, 2002.
- FONSECA, F. et al. *Ontologias e Interoperabilidade Semântica entre SIGs*. II Workshop Brasileiro em Geoinformática - GeoInfo, São Paulo. 2000.

- JENA. A Semantic Web Framework for Java - Jena 2 Ontology API. <<http://jena.sourceforge.net/ontology/>>. Acesso em 05 de novembro de 2006.
- LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. *Modeling with a UML profile*. In: Shashi Shekhar and Hui Xiong. Encyclopedia of Geographical Information Science. Germany: Springer-Verlag, 2007. (in press)
- MAPSUITE. *Map Suíte Pocket PC*. Disponível em <<http://thinkgeo.com/>>. Acesso em 27 de agosto de 2007.
- NOVELLO, T. C. *Ontologias, Sistemas baseados em Conhecimento e Modelos de Banco de Dados*. Disponível em <http://www.inf.ufrgs.br/~clesio/cmp151/cmp15120021/artigo_taisa.pdf>, 20 de maio de 2007.
- ORACLE. Oracle Spatial. Disponível em <<http://www.oracle.com/technology/products/spatial/>>. Acesso em 20 de janeiro de 2007.
- OWL. OWL Web Ontology Language Overview. Disponível em <<http://www.w3.org/TR/owl-features/>>. Acesso em 03 de abril de 2007.
- PROTEGE. Protege Ontology Editor. Disponível em <http://protege.stanford.edu/>. Acesso em 06 de março de 2007.
- POSTGIS. PostGIS Site. *Extensão espacial para o PostGreSQL*. Disponível em <http://postgis.refractor.net/>. Acesso em 20 de janeiro de 2007.
- RDF. Resource Description Framework. Disponível em <http://www.w3.org/RDF/>. Acesso em 20 de março de 2007.
- SADEH, N. et. al. *MyCampus: An agent-based environment for context-aware mobile services*. Workshop on Ubiquitous Agents on Embedded, Wearable, and Mobile Devices (AAMAS), Bologna – Itália. 2002.
- SILVA, G. K. C., et. al. *Disponibilização de Serviços Baseados em Localização via Web Services*. Simpósio Brasileiro de GeoInformática, GeoInfo. 2004.
- SOLYMAN, A. A. *Investigating Mobile GIS*. Disponível em <<http://www.directionsmag.com/article.php/>>, 28 de maio de 2007.
- TOIVONEN, S. et. al. *Facilitating mobile users with contextualized content*. Workshop Artificial Intelligence in Mobile System, 2003.
- TOMKO, M. *Spatial Databases for Mobile GIS Applications*. 2003. Maser thesis – Slovak University of Technology, Eslováquia, 2003.
- USCHOLD, M.; GRUNINGER, M. *Ontologies: Principles, Methods and Applications*. Knowledge Engineering Review, 11(2): 93-155, 1996.
- VIEGAS, R.; SOARES, V. *Querying a Geographic Database using an Ontology-Based Methodology*. Simpósio Brasileiro de GeoInformática, GeoInfo, 2006.
- WEIßENBERG, N. et. al. *An Ontology-based Approach to Personalized Situation-aware Mobile Service Supply*. GeoInformatica, v.10, n.1, p:55-90, 2006.
- WORBOYS, M.; DUCKHAM, M. *GIS: A Computing Perspective Second Edition*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, . p. 426, 2004.