

Acesso Interoperável a Informação Geográfica para Disponibilização de Modelos Urbanos 3D em Dispositivos Móveis

Manuel Mesquita T. F. Gomes¹, Artur Jorge da Silva Rocha¹, António Fernando Coelho², A. Augusto Sousa^{1,3}

¹ INESC-Porto, Rua Dr. Roberto Frias, n.378, 4200-465 Porto, Portugal,

² Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados,
5000-801 Vila Real, Portugal,

³ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias,
4200-465 Porto, Portugal.

mmgomes@inescporto.pt, artur.rocha@inescporto.pt,
acoelho@utad.pt, aas@fe.up.pt

Resumo A evolução tecnológica nas plataformas móveis, nomeadamente no que diz respeito ao aumento da largura de banda das comunicações e da maior capacidade de processamento, assim como a integração de equipamentos GPS, sugerem novas aplicações baseadas na disponibilização de modelos tridimensionais localizados de ambientes urbanos que proporcionem ao utilizador um ambiente virtual georeferenciado com utilização nos domínios da cultura, turismo, manutenção de infraestruturas, planeamento urbano, entre outros.

Este artigo descreve a abordagem utilizada para o desenvolvimento de uma solução de modelação automática e distribuição de modelos de ambientes urbanos virtuais extensos através de redes de comunicação sem fios para dispositivos móveis. É dado especial ênfase ao acesso interoperável aos dados pelo seu subsistema de modelação que, utilizando processos automáticos para a criação de ambientes urbanos virtuais extensos, permite uma prototipagem rápida mas com a possibilidade de refinamento progressivo por forma a atingir o maior nível possível de realismo.

O sistema acede de forma interoperável à informação geográfica proveniente de diversas fontes, utilizando as normas estabelecidas pelo consórcio *OpenGeospatial* (OGC) [14] para a interoperabilidade entre serviços geoespaciais, nomeadamente *Geographic Markup Language* (GML) [16] e *Web Feature Service* (WFS) [18], gerando os modelos virtuais urbanos a disponibilizar, no formato X3D (*Extensible 3D*).

Palavras-chave: Sistemas de Informação Geográfica, OpenGIS, OSF, OWS, WFS, GML, Computação Gráfica, Realidade Virtual, Modelação 3D, Sistemas-L, X3D.

1 Introdução

A evolução da tecnologia das plataformas móveis, como PDAs e telemóveis, com cada vez maiores capacidades de processamento, o aumento da largura de banda disponível

para as comunicações, permitindo a transmissão de maior quantidade de informação, e a cada vez maior precisão e integração de equipamentos GPS neste tipo de dispositivos, tem motivado o aparecimento cada vez maior de aplicações cientes da localização do utilizador e do seu contexto geográfico, como serviços de orientação e navegação.

Embora estes serviços utilizem principalmente mapas interactivos como forma de visualização, derivados dos mapas utilizados durante séculos em papel, existem já modelos tridimensionais para sistemas de navegação automóvel que sugerem que a utilização destes modelos para navegação e exploração de ambientes complexos, como os urbanos, pode ser mais eficiente e compreensível[5].

Nesse e outros contextos, os ambientes urbanos virtuais são um conteúdo relevante. Por exemplo, a geração de modelos virtuais de cidades antigas com base nos dados obtidos pela arqueologia possibilita "viajar no tempo", visitando o passado. Os modelos virtuais do Mosteiro de Santa Clara-a-Velha [26] e de Bracara Augusta [1] são exemplos desse tipo de projectos desenvolvidos em Portugal. A simulação de projectos de urbanização e a avaliação do seu impacto, com recurso a modelos virtuais que recriem ambientes urbanos existentes, evitam alterações dispendiosas realizadas em fases posteriores, e potenciam a optimização da gestão de recursos do ambiente urbano. Neste contexto, salientam-se os casos de Lisboa Virtual [21], de Angra do Heroísmo [7] e do Funchal [8] e, num contexto mais alargado, encontram-se vários bons exemplos, como se pode ver no directório de cidades virtuais [13].

A simples visualização destes ambientes virtuais, tal como sucede nos exemplos anteriores, embora atractiva, não explora todas as suas potencialidades. A sua utilização como ferramenta para a disponibilização de informação georreferenciada de peças do edificado ou mesmo de outro mobiliário urbano pode ser de grande importância, quer para o grande público, quer mesmo para serviços especializados, ainda mais se disponibilizados em plataformas móveis.

O reconhecimento do uso da Internet como meio de difusão de informação geográfica e centro do desenvolvimento dos sistemas de informação geográfica (GIS) pelos principais fornecedores deste tipo de tecnologia[20], tem levado ao aumento de fontes deste tipo de informação disponíveis publicamente.

Tal situação traduz-se também num grande potencial para a modelação tridimensional de ambientes urbanos que, apesar de tudo, requer ainda uma grande intervenção humana. Esta condicionante resulta de problemas relacionados com a utilização de diferentes fontes de dados proprietárias, da redundância geográfica causada pela diversidade de temas sobre a mesma informação geográfica de base e de divergências temporais na recolha dos dados.

Para ultrapassar estes problemas e permitir assim a modelação automática destes ambientes, é necessário encontrar novas formas de interoperabilidade entre sistemas de informação geográfica diferentes, que ofereçam meios de uniformizar a informação neles contida.

No capítulo seguinte deste artigo é apresentado o estado da arte referente à interoperabilidade no domínio dos sistemas de informação geográfica. No capítulo 3 é apresentada a solução proposta para um sistema capaz de modelar ambientes urbanos virtuais, de uma forma automática a partir do acesso interoperável a diferentes fontes de informação. No capítulo 4 descreve-se a implementação da solução apresentada e no

capítulo 5 os testes efectuados e respectivos resultados. Para finalizar, no capítulo 6, são apresentadas conclusões e aponta-se o caminho a seguir no desenvolvimento do conceito descrito neste artigo.

2 Interoperabilidade em GIS

Uma das grandes limitações das aplicações GIS proprietárias centradas na Internet é a adopção, por cada fornecedor, da sua própria arquitectura, estrutura de base de dados e formatos. A informação e capacidades de processamento da informação que cada uma destas soluções fornece não podem ser partilhadas pelas outras, tornando a interoperabilidade entre estes sistemas uma tarefa difícil.

Em 1994 foi constituído consórcio *OpenGeospatial* (OGC)[14] com o objectivo de estudar e especificar meios de interoperabilidade entre sistemas GIS na Internet. Daí têm resultado especificações várias que normalizam, entre outros, as operações de pesquisa e de consulta de mapas e dados geográficos de diferentes fontes e fornecedores.

Em Abril de 2000, na sequência da iniciativa *Web Mapping Testbed, Phase 1* (WMT-1) [28], foi introduzida a primeira versão da especificação de implementação do *Web Map Server* (WMS) [15], que constituiu o primeiro passo no desenvolvimento de componentes da *Spatial Data Infrastructure* (SDI). Seguiram-se desenvolvimentos-piloto deste conceito, tais como o *North Rhein Westphalia Pilot Project* (NRWPP) [22], que deu origem ao actual *Geodata Infrastructure North-Rine Westphalia* (GDI NRW) [29]. Neste e noutros exemplos, como o *Infraestructura de Datos Espaciales de España* (IDEE) [6], utilizam-se WMS para disponibilizar informação geográfica de forma interoperável. Outras especificações da OGC, como *Web Feature Service* (WFS), *Web Coverage Service* (WCS), *Catalogue Service for Web* (CS-W) e *Geography Markup Language* (GML), são também actualmente utilizadas para implementar SDIs globalmente interoperáveis.

Dos resultados obtidos no WMT-1, acabou também por surgir uma *framework*, resumidamente representada na figura 1, baseada em serviços *Web*, denominados de *OpenGIS Web Services* (OWS). Estes serviços são os componentes individuais das aplicações geográficas dinâmicas e estão na base do paradigma *Spatial Web* para a elaboração de soluções de problemas geoespaciais.

Este paradigma impõe restrições conceptuais e de implementação aos OWS, que incluem orientação do serviço, capacidade de distribuição, descrição própria, operações *stateless*, uso de codificações comuns de XML, transporte por HTTP, sintaxe de interface definida e modelos de informação específicos para a descrição dos serviços e de outra metainformação[11].

Os serviços da *OpenGIS Web Services Framework* (OSF) que disponibilizam a informação geográfica aos utilizadores através da Internet são os *Portrayal Services* e os *Data Services*[11]. Os primeiros, cujo principal serviço é o *Web Map Service* (WMS)[17], fornecem mapas que são a representação visual e bidimensional da informação em formatos *raster*, como PNG, GIF ou JPEG. Os *Data Services*, cujo principal serviço é o *Web Feature Service* (WFS)[18], fornecem a informação propriamente dita, geralmente sob a forma de *Geography Markup Language* (GML)[16].

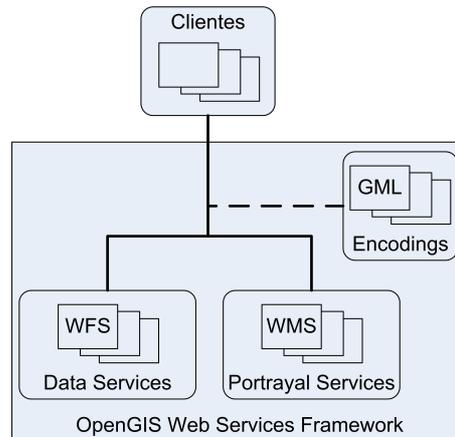


Figura 1. Representação da OpenGIS Web Services Framework (OSF)

O WFS é a especificação desenvolvida pelo OGC para as operações de manipulação e consulta de informação geográfica, permitindo que os utilizadores obtenham dados em GML a partir de diversos tipos de fontes de dados, tais como formatos específicos de fornecedores suportados pelo WFS e até de outros WFS.

O WFS tem como requisitos principais ser capaz de, no mínimo, fornecer informação geográfica utilizando GML e possuir interfaces definidas em XML. Os pedidos e respectivos filtros são definidos em XML e derivados de CQL, conforme definido na especificação do OpenGIS Catalog Interface[19]. As fontes de dados utilizadas para guardar a informação geográfica devem ser opacas às aplicações cliente, cuja única visão da informação será através da interface WFS que utiliza um subconjunto de *XPath* para a referenciação de propriedades.

O processamento de consulta e a manipulação da informação geográfica num WFS são suportados através das seguintes operações: *GetCapabilities*, que permite descrever as capacidades do WFS indicando que tipo de informações pode fornecer a um cliente e as operações suportadas por cada tipo; *DescribeFeatureType*, que permite descrever, a pedido, a estrutura de cada tipo de informação geográfica que pode servir a um cliente; *GetFeature*, que permite fornecer a informação geográfica pedida a um cliente, devendo ser possível a este especificar o tipo de informação que pretende, bem como limitá-la, quer geograficamente, quer não geograficamente; *Transaction*, que permita a um WFS ser capaz de suportar pedidos de transacção, que é composta por pedidos de edição de informação, isto é, por operações que insiram, actualizem ou eliminem informação geográfica; e *LockFeature*, que permite a um WFS ser capaz de processar um pedido de *lock* a um ou mais tipos de informação geográfica durante uma transacção, permitindo o suporte de transacções serializáveis.

Baseado nestas operações, podem definir-se duas classes de WFS: *Basic WFS*, que implementa as operações *GetCapabilities*, *DescribeFeatureType* e *GetFeature* e que se considera apenas de leitura, servindo para consulta de informação geográfica; *Transaction WFS*, que suporta todas as operações de um *Basic WFS*, a operação *Transaction*

e, opcionalmente, a operação *LockFeature*, permitindo, além de consultar informação geográfica, a sua modificação e inserção de nova informação.

Os pedidos mais usuais neste tipo de serviço são o *GetCapabilities* e o *GetFeature*. O primeiro é geralmente efectuado através do método GET do HTTP enquanto o segundo, e dependendo da implementação do WFS, pode ser efectuado quer através do método GET, quer através do método POST.

Actualmente existem diversas implementações da especificação WFS e, em regime de *open source*, destacam-se duas, implementadas em Java: GeoServer[9] e Deegree[23]. Estas apresentam semelhanças ao nível da funcionalidade sendo, no entanto, o GeoServer mais fácil de configurar, através de uma interface *Web*. Joga também a favor do GeoServer o facto de ser a implementação de referência da especificação WFS do OGC[10].

GML[16] é uma codificação XML para o transporte e armazenamento de informação geográfica, incluindo características espaciais e não espaciais e cuja especificação define mecanismos, convenções e uma sintaxe em XML Schema que estabelecem uma *framework* aberta para a definição de esquemas e objectos para aplicações geoespaciais. Além disso, suporta a descrição de esquemas de aplicações geoespaciais para domínios especializados e comunidades de informação, permitindo a criação, manutenção, armazenamento e transporte de esquemas de aplicações geográficas e conjuntos de dados, o que aumenta a capacidade de as organizações partilharem esquemas de aplicações geográficas e a informação que estes descrevem.

A linguagem GML foi desenvolvida pelo OGC para a troca de informação entre os diferentes sistemas e modela o mundo em termos de *features*¹. A GML foi desenvolvida com um conjunto de objectivos em mente, alguns dos quais de sobrepõem aos próprios objectivos do XML: Fornecer um meio de codificar informação espacial, quer para o armazenamento, quer para o transporte, especialmente num contexto alargado como é a Internet; ser suficientemente expansivo para suportar uma grande variedade de tarefas espaciais, desde a representação até à análise; estabelecer a base da Internet GIS de uma maneira incremental e modular; permitir a criação e manutenção de esquemas de aplicações geográficas e conjuntos de dados; permitir a codificação eficiente de geometria geoespacial; fornecer codificações de informação e relações espaciais fáceis de entender, incluindo as definidas no modelo Simple Features do OGC; conseguir a separação do conteúdo (espacial e não espacial) da apresentação da informação; permitir a integração fácil de informação espacial e não espacial, principalmente nos casos em que esta é expressa em XML; efectuar a ligação de elementos espaciais (geométricos) a outros elementos espaciais ou não espaciais; e fornecer um conjunto comum de objectos de modelação geográfica de forma a permitir a interoperabilidade entre aplicações desenvolvidas independentemente.

A GML suporta a interoperabilidade entre sistemas diferentes através do fornecimento de um conjunto básico de *tags* geométricas, um modelo de dados comum (*features* e/ou propriedades) e mecanismos de criação e partilha de esquemas de aplicação.

¹ *features* são abstrações de fenómenos do mundo real e que são geograficamente associadas a um local da Terra

3 Solução Proposta

O grande potencial de informação tridimensional como via de comunicação e a evolução dos dispositivos móveis sugerem o desenvolvimento de novos serviços de disponibilização de ambientes urbanos virtuais neste tipo de tecnologia usando, para o efeito, a variada informação geográfica que vai sendo publicamente disponível. No entanto, a falta de interoperabilidade entre os sistemas GIS proprietários, bem como as diferenças entre a informação geográfica existente, obriga a grande intervenção humana para a modelação destes ambientes.

Por forma a resolver estes problemas de interoperabilidade e a permitir a modelação automática de ambientes urbanos foi definido o sistema, representado na figura 2. Este sistema é baseado numa arquitectura distribuída de serviços *Web* potenciando a interoperabilidade entre os diversos módulos e aplicações externas e constituído por dois importantes subsistemas: o de modelação e o de distribuição.

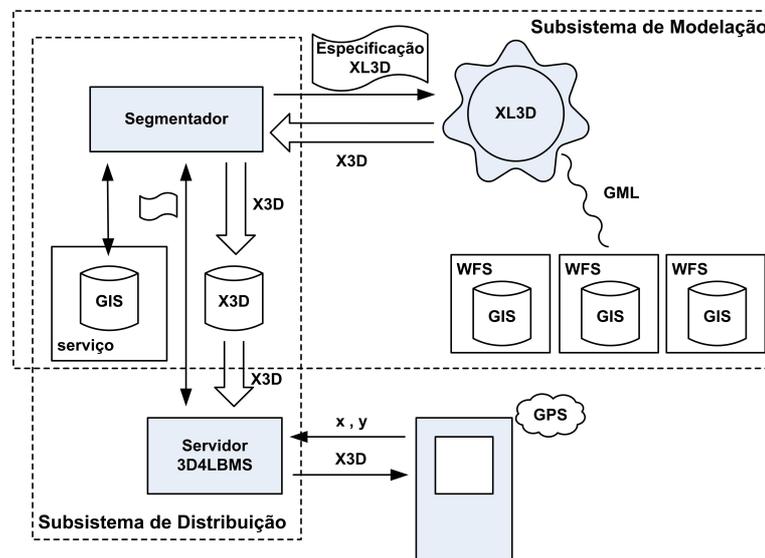


Figura 2. Arquitectura 3D4LBMS

3.1 Subsistema de Modelação

O subsistema de modelação é o responsável pela geração dos modelos tridimensionais de ambientes urbanos, tendo como núcleo principal o modelador XL3D [5]. Este modelador reage em função de uma especificação de modelação, gerando modelos de cenas urbanas no formato X3D[25] e armazenando-os numa base de dados de modelos. Esta é acessada pelo subsistema de distribuição e envia os modelos 3D para os dispositivos móveis[3].

O modelador XL3D utiliza processos automáticos para uma prototipagem rápida do modelo tridimensional, mas dando a possibilidade de efectuar refinamentos posteriores, de forma a atingir-se o maior nível possível de realismo.

3.2 O Papel da Interoperabilidade na Modelação

Para a geração automática de ambientes urbanos virtuais, o subsistema de modelação necessita de informação geográfica da zona a modelar. Essa informação é obtida em diversos formatos e é proveniente de diversas fontes, segundo um modelo interoperável, utilizando principalmente as especificações GML[16] e WFS[18] da OGC como meio de homogenização da informação.

A utilização de servidores WFS permite que a informação se encontre em qualquer dos formatos suportados pela implementação utilizada, sendo transformada, em tempo real, para GML. Sendo a GML uma linguagem derivada da XML, a informação disponibilizada pelo servidor WFS pode ser transformada pelo modelador, através de folhas de estilo XSLT, em cadeias modulares paramétricas. Estas são então concatenadas para compor a cadeia inicial de dados a utilizar no processo de modelação, definido e controlado por um sistema L paramétrico[4].

3.3 Subsistema de Distribuição

O subsistema de distribuição foi concebido seguindo uma arquitectura cliente-servidor e é o responsável por, ao receber um pedido de um dispositivo móvel e respectiva localização (obtida, por exemplo, através de GPS), enviar o respectivo modelo tridimensional da área envolvente ao utilizador. O modelo é extraído da base de dados de modelos X3D[25] ou, no caso de ainda não estar modelado na zona solicitada, poderá ser gerado pelo sistema de modelação em tempo real.

A transmissão do modelo do servidor para o cliente está prevista ser efectuada no formato X3D, embora como prova de conceito e, face à inexistência de visualizadores X3D para dispositivos móveis, esteja neste momento a ser efectuada em VRML[27].

Devido à ainda limitada largura de banda das redes de comunicação móveis, bem como às limitações de processamento e de visualização nos dispositivos móveis, é importante que a informação enviada para o cliente não seja nem precária nem excessiva. Para o efeito, faz também parte do subsistema de distribuição, um segmentador que tem como papel a determinação da informação necessária ao utilizador, não só tendo em conta a sua localização, mas também outros factores como a geografia e topologia do modelo, a resolução do ecrã do dispositivo, a largura de banda disponível, ou o perfil do utilizador[3].

4 Implementação

A modelação de ambientes urbanos virtuais é potencialmente facilitada pela existência de informação geográfica de base. Embora a quantidade de informação disponível aumente a possibilidade de aproximação do modelo à realidade, nem sempre é possível, nem necessário, utilizar toda a informação disponível. Estudos demonstram que não é

necessária a totalidade da informação para que o modelo seja minimamente realista, sendo necessária apenas a existência de algumas características chave para que aquele seja reconhecido[2].

Para a realização de uma prova de conceito do sistema apresentado, foram utilizados os seguintes níveis de informação geográfica:

- Edifícios: cor, altura, fachada (imagem se possível) e tipo (habitação, comércio, serviços, etc.);
- Ruas: tipo de pavimento, largura e faixas de circulação;
- Mobiliário urbano: postes de iluminação, bancos, painéis publicitários, etc;
- Jardins: com ou sem árvores, tipo de árvores e características das árvores;
- Monumentos: de preferência, modelos 3D detalhados ou imagens;
- Passeios: tipo de pavimento;
- Sinalização de trânsito vertical e horizontal;

Tendo estes níveis de informação sido considerados suficientes para o estabelecimento de um protótipo com um razoável nível de realismo,, foram configuradas várias fontes de dados, como descrito na figura 3, que utilizam soluções, algumas das quais proprietárias, normalmente utilizadas como bases de dados geográficas. O objectivo foi demonstrar que esta informação, apesar de por vezes se encontrar dispersa, pode ser utilizada como base para a construção de modelos virtuais urbanos 3D.

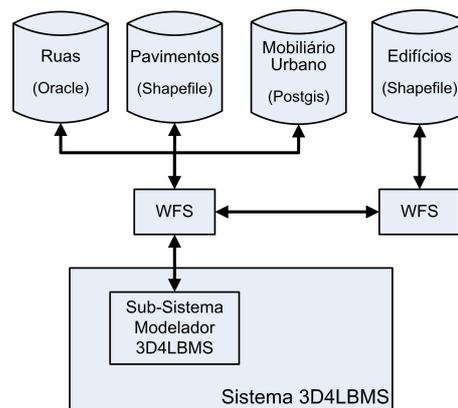


Figura 3. Exemplo da estrutura das fontes de dados disponibilizada

Como interface de acesso aos dados optou-se pela implementação de referência da norma WFS da OGC, o GeoServer[9].

Através de pedidos ao servidor WFS, o subsistema de modelação obtém dados referentes a edifícios, ruas, tipos de pavimento (de ruas e passeios) e mobiliário urbano em GML. Estes pedidos são efectuados através de HTTP, podendo utilizar-se, no caso da implementação GeoServer, quer o método POST quer o método GET. No caso de utilização do método POST e, por exemplo, para obter todos os edifícios configurados no WFS, seria efectuado o seguinte pedido:

```

<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
<GetFeature outputFormat="GML2"
  xmlns="http://www.opengis.net/wfs"
  xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
  xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc">
  <Query typeName="local:edif">
  </Query>
</GetFeature>

```

A resposta do WFS a este pedido corresponderia ao fragmento de GML seguinte:

```

<gml:featureMember>
<local:edif fid="edif.13904">
  <local:the_geom>
  <gml:MultiPolygon>
  <gml:polygonMember>
  <gml:Polygon>
  <gml:outerBoundaryIs>
  <gml:LinearRing>
  <gml:coordinates decimal="." cs="," ts=" ">
-40099.224,164391.377 -40084.915,164387.825
-40086.567,164377.288 -40087.305,164372.578
-40087.613,164370.646 -40099.224,164391.377
  </gml:coordinates>
  </gml:LinearRing>
  </gml:outerBoundaryIs>
  </gml:Polygon>
  </gml:polygonMember>
  </gml:MultiPolygon>
  </local:the_geom>
<local:AREA>265.58230450004</local:AREA>
<local:PERIMETER>65.592984942794</local:PERIMETER>
<local:CHAO>0</local:CHAO>
<local:ZVALUE>89.119</local:ZVALUE>
  </local:edif>
</gml:featureMember>

```

À resposta do WFS, o subsistema de modelação aplica a especificação XL3D definida e, recorrendo a transformações XSLT e a processos baseados em sistemas L paramétricos[12], transforma a informação GML em modelos X3D. Estes são armazenados numa base de dados de modelos para serem disponibilizados ao subsistema de distribuição[3].

O subsistema de distribuição é o responsável por receber os pedidos do dispositivo móvel do utilizador e, com base na sua localização e contexto geográfico, por lhe enviar o respectivo ou respectivos modelos tridimensionais da área envolvente.

5 Testes e Resultados

Para testar o potencial da solução em desenvolvimento, foram configuradas diversas fontes de dados, conforme representado na figura 3, em formatos proprietários diferentes. A partir da informação geográfica que as fontes fornecem através do interface WFS, foram feitos alguns pedidos de forma a gerar alguns modelos tridimensionais de ambientes urbanos de forma automática. Estes pedidos foram testados de forma local, embora tenham sido efectuadas experiências bem sucedidas com pedidos através da Internet, para alimentar o modelador.

Para teste, foram efectuados, primeiro, pedidos para a totalidade da informação dos vários tipos disponíveis no servidor (sem filtro). De seguida, numa tentativa de melhorar

a *performance* do sistema, uma vez que nem toda a informação disponível é necessária para a representação de um ambiente urbano, foram realizados testes em que os pedidos efectuados ao WFS apenas contemplavam a informação necessária à modelação (com filtro). Os resultados destes testes estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Resultados de pedidos ao WFS, contemplando apenas a informação necessária à modelação

Nível de informação	Tamanho da resposta (MB)		Tempo de acesso (s)	
	sem filtro	com filtro	sem filtro	com filtro
Ruas	7,7	7,2	11,2	9,2
Pavimentos	13,5	4,5	15,8	6,4
Mobiliário urbano	4	1,4	7,3	2,6
Edifícios	19	13,5	28,6	15,8

Com estes testes constata-se que a utilização de filtros nos pedidos que devolvam do WFS apenas a informação necessária à modelação dos ambientes urbanos, permite reduzir de forma significativa o tamanho da informação recebida e, logo, os respectivos tempos de acesso.

O acesso interoperável às diferentes fontes de dados disponibilizadas para o sistema em desenvolvimento permitiu, desde já, obter também alguns resultados na modelação automática de ambientes urbanos.

Na figura 4 é apresentado o modelo tradicional de um sistema GIS na forma de um mapa retornado pelo servidor WFS em GML. Paralelamente é exibido o modelo tridimensional respectivo que foi gerado automaticamente pelo modelador XL3D, utilizando regras simples de extrusão dos limites dos edifícios.

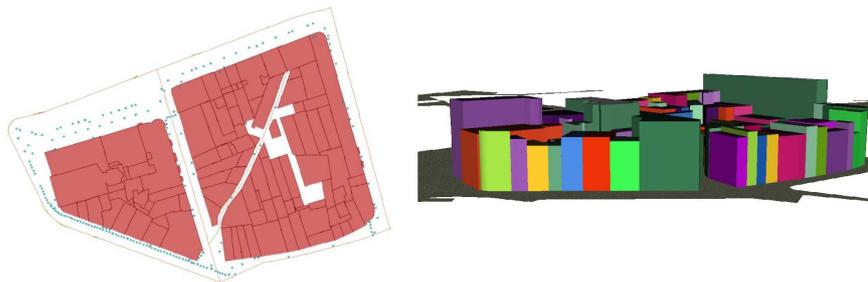


Figura 4. Mapa gerado a partir do GML retornado pelo WFS e respectivo modelo tridimensional gerado automaticamente através de extrusão

Na figura 5 é apresentado o resultado da modelação do mesmo quarteirão, utilizando processos de modelação mais elaborados baseados em sistemas L paramétricos[4]. O resultado incorpora mais detalhes como as fachadas dos edifícios, portas, janelas e varandas, estradas, vegetação e mobiliário urbano.



Figura 5. Vista de um quarteirão mais detalhado gerado automaticamente

Os processos de modelação podem ser ainda mais elaborados, de forma a produzirem objectos mais detalhados e realistas. Embora a fidelidade visual possa ser de extrema importância em algumas aplicações, esta estará sempre dependente da quantidade e qualidade da informação disponível no processo de modelação.

A diversidade das fontes de informação e dos formatos de dados prevista neste projecto perspectiva, desse ponto de vista, uma adequada infraestrutura, adaptável às circunstâncias e às ofertas de dados, quer em quantidade, quer em qualidade.

6 Conclusões e Trabalho Futuro

Trabalhos recentes apontam na direcção de concluir que a utilização de modelos tridimensionais para a navegação e exploração de ambientes complexos, como os urbanos, é mais eficiente e compreensível que os tradicionais mapas dimensionais [24].

No entanto, a utilização deste tipo de modelos não tem explorado todas as suas potencialidades, principalmente no que diz respeito a informação georreferenciada. A falta de interoperabilidade entre os sistemas GIS proprietários, bem como as diferenças entre a informação geográfica existente, torna difícil a automatização dos processos de modelação de ambientes complexos, obrigando a grande intervenção humana.

As implementações, actualmente existentes, de SDIs globalmente interoperáveis, nomeadamente por recurso às especificações OpenGIS, permitem a disponibilização da informação geográfica proveniente de diversas fontes e em diversos formatos, numa perspectiva de disponibilização de mapas interactivos com informação temática diversificada sobre um país ou uma região.

No entanto, recorrendo a soluções deste tipo, é possível obter informação geográfica de um modo interoperável, com grande potencial de modelação tridimensional através de processos automáticos. O resultado desta modelação, traduz-se em ambientes urbanos virtuais no formato X3D, que, sendo o formato XML para codificação de informação tridimensional, garante por si só a interoperabilidade dos mesmos.

Com o intuito de disponibilizar estes ambientes urbanos virtuais em plataformas móveis, através de serviços móveis baseados na localização, foi desenvolvido um sistema inovador denominado 3D4LBMS. Este sistema é composto por um subsistema de modelação automática, que possibilita a geração dos ambientes virtuais de acordo com uma determinada especificação de modelação XL3D, e por um subsistema de distribuição, que disponibiliza os modelos tridimensionais às plataformas móveis de acordo com a localização geográfica do utilizador.

O subsistema de modelação 3D encontra-se já operacional, gerando automaticamente, a partir de um acesso interoperável a dados geográficos em diversas fontes e formatos, os modelos virtuais da zona urbana onde o dispositivo móvel se encontra.

De forma a serem obtidos modelos tridimensionais complexos otimizados para a sua transmissão para dispositivos móveis, têm sido efectuados estudos de percepção visual sobre as principais características utilizadas pelos utilizadores ao tentar navegar em ambientes desconhecidos[2]. Percebendo para onde o utilizador olha, pode-se fornecer uma experiência com elevado nível perceptual, sendo este conhecimento utilizado para seleccionar a informação a ser modelada e apresentada ao utilizador.

Como trabalho futuro pretende-se o desenvolvimento de um protótipo de um visualizador tridimensional para dispositivos móveis, capaz de apresentar e permitir a interacção do utilizador com os modelos gerados pelo sistema, com ligações hipermédia a outros tipos de informação, configurável de acordo com o tipo de negócio a explorar.

7 Agradecimentos

Este trabalho é parcialmente apoiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), União Europeia e FEDER através do projecto POSI / CHS / 48220 / 2002 intitulado "3D4LBMS - Modelação Tridimensional de Ambientes Virtuais Urbanos para Serviços Móveis Baseados na Localização".

Referências

- [1] P. Bernardes and M. Martins. Computação gráfica e arqueologia urbana: O caso de bracara augusta. In *12º Encontro Português de Computação Gráfica*, pages 63–72, 2003.
- [2] Maximino Bessa, António Coelho, and Alan Chalmers. Alternate feature location for rapid navigation using a 3d map on a mobile device. In *MUM2004*, 2004.
- [3] Maximino Bessa, António Coelho, João Paulo Moura, José Bulas Cruz, F. Nunes Ferreira, Alan Chalmers, and A. Augusto Sousa. Modelação expedita de ambientes virtuais urbanos para utilização em dispositivos móveis. In *13º Encontro Português de Computação Gráfica*, 2005.
- [4] António Coelho, A. Augusto Sousa, and F. Nunes Ferreira. Modelação expedita de cenas urbanas. In *12º Encontro Português de Computação Gráfica*, 2003.

- [5] António Coelho, A. Augusto Sousa, and F. Nunes Ferreira. Modelling urban scenes for lbms. *Web3D 2005 Symposium*, 2005.
- [6] Infraestructura de Datos Espaciales de España. http://www.idee.es/show.do?to=pideep_wms_generic_viewer.ES.
- [7] Angra do Heroísmo Virtual. <http://urban-virtual.com>.
- [8] 3D Funchal. <http://www.3dfunchal.com>.
- [9] GeoServer. <http://geoserver.sourceforge.net>.
- [10] OGC Reference Implementations. <http://cite.occamlab.com/reference/>.
- [11] Open GIS Consortium Inc. Opengis® web services architecture. Technical report, 2003.
- [12] A. Lindenmayer. Mathematical models for cellular interaction in development, parts i and ii. *Journal of Theoretical Biology*, 18:280–315, 1968.
- [13] Virtual Cities Resource Center: Cities on the Web. <http://www.casa.ucl.ac.uk/vc/cities.htm>.
- [14] Inc. Open GIS Consortium. <http://www.opengeospatial.org>.
- [15] Inc. Open Gis Consortium. Opengis web map server interface implementation specification. Technical Report 00-028, OGC, Abril 2000.
- [16] Inc. Open Gis Consortium. Geography markup language (gml) 2.0. Technical Report 01-029, OGC, February 2001.
- [17] Inc. Open Gis Consortium. Web map service implementation specification. Technical Report 01-068r2, OGC, November 2001.
- [18] Inc. Open Gis Consortium. Web feature service implementation specification. Technical Report 02-058, OGC, September 2002.
- [19] Inc Open GIS Consortium. *OpenGIS Catalogue Services Implementation Specification*. OGC, 2004.
- [20] Zhong-Ren Pen and Chuarong Zhang. The roles of geography markup language (gml), scalable vector graphics (svg), and web feature service (wfs) specifications in the development of internet geographic information systems (gis). *Journal of Geographical Systems*, 2004.
- [21] J. Pimentel, N. Baptista, L. Goes, and J. Dionísio. Construção e gestão da complexidade de cenários urbanos 3d em ambientes virtuais imersivos. In *10º Encontro Português de Computação Gráfica*, pages 165–174, 2001.
- [22] North Rhein Westphalia Pilot Project. <http://www.opengeospatial.org/initiatives/?iid=76>.
- [23] The Deegree Project. <http://deegree.sourceforge.net>.
- [24] Arne Schilling, Volker Coors, Martin Giersich, and Rune Aasgaard. Introducing 3d gis for the mobile community technical aspects in the case of tellmaris. In *IMC Workshop*, 2003.
- [25] X3D Standard. http://www.web3d.org/x3d/specifications/x3d_specification.html.
- [26] J. Teixeira, P. Bernardes, A. Diogo, A. Silva, L. Soares, and S. Rodrigues. A cultura e ciência na era dos ambientes virtuais. In *8º Encontro Português de Computação Gráfica*, pages 3–18, 1998.
- [27] Virtual Reality Modeling Language (VRML97). <http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/>.
- [28] Phase 1 Web Mapping Testbed. <http://www.opengeospatial.org/initiatives/?iid=101>.
- [29] Geodata Infrastructure North-Rine Westphalia. <http://www.opengeospatial.org/initiatives/?iid=76>.