

# SIG Interoperável e Distribuído para Administrações Municipais de Grande Porte

## **Clodoveu Augusto Davis Jr.<sup>1</sup>**

*Pesquisador da Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte S.A. – PRODABEL*

*Doutor em Ciência da Computação pela UFMG*

*Áreas de interesse: sistemas de informação geográficos, bancos de dados espaciais, computação gráfica, processamento digital de imagens*

## **Pedro Alves de Oliveira<sup>2</sup>**

*Analista de Informática da Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte S.A. – PRODABEL*

*Mestre em Engenharia de Produção pela UFMG*

*Áreas de interesse: sistemas de informação geográficos, bancos de dados espaciais, modelagem de dados espaciais, sistemas de gestão urbana*

## **PALAVRAS-CHAVE**

Sistemas de informação geográficos – Interoperabilidade – Bancos de dados distribuídos – Administração municipal

### **RESUMO**

Para os grandes municípios brasileiros, o uso de sistemas de informação geográficos (SIG) não pode ficar restrito a um pequeno conjunto de aplicações. Existe um enorme potencial para a utilização de um banco de dados geográfico urbano em todas as áreas de atuação do poder público municipal, em especial quando se viabiliza sua integração a sistemas de informação convencionais típicos de uma prefeitura organizada. Adicionalmente, é necessário proteger o investimento público em tecnologia SIG através da adoção de alternativas fortemente baseadas em padrões, de modo a permitir que grupos de usuários diferentes dentro da prefeitura possam adotar ou implementar software que atenda às suas necessidades específicas, sem prejuízo para o conjunto do banco de dados geográfico urbano. Com esses objetivos, uma arquitetura *interoperável e distribuída* para SIG urbano é pro-

<sup>1</sup> E-mail: clodoveu@pbh.gov.br

<sup>2</sup> E-mail: pedro@pbh.gov.br

posta neste artigo, destacando os aspectos tecnológicos que a viabilizam, o potencial de integração a bancos de dados convencionais e as possibilidades para a descentralização do trabalho de manutenção do banco de dados.

## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas de informação geográficos (SIG) urbanos têm como uma de suas principais características a grande diversidade temática. No ambiente urbano, agentes bastante distintos interagem, cada qual percebendo os elementos da paisagem urbana de maneira diferente e em variados graus de detalhamento. As aplicações são igualmente variadas, abordando atividades como tributação, licenciamento de atividades, parcelamento, uso e ocupação do solo, planejamento urbano, educação, saúde, transportes e trânsito, infra-estrutura urbana (redes de energia elétrica, telecomunicações, abastecimento de água, drenagem pluvial, esgotamento sanitário), localização de atividades econômicas, *marketing*, policiamento, e muitas outras.

As dificuldades inerentes a esse largo espectro de aplicações geográficas são muitas. Uma das mais importantes é a necessidade de construir um banco de dados básico sobre a cidade, ou seja, um conjunto de classes de informação que possa ser compartilhado pelas diversas aplicações. Esse banco de dados básico (que tem sido denominado, inadequadamente, de Mapa Urbano Básico – MUB) precisa conter, no mínimo, um esboço do traçado das ruas, acompanhado de informações sobre os logradouros e endereços, além de unidades territoriais básicas, como bairros e unidades administrativas. Uma vez disponíveis, esses dados viabilizam a concepção e a implementação de um grande conjunto de aplicações, apoiando o processo de levantamento e conversão dos dados específicos de cada aplicação.

A complexidade dessas aplicações, aliada ao intenso ritmo de mudanças característico dos ambientes urbanos mais densamente ocupados, leva a uma grande dificuldade de manutenção dos dados geográficos, sejam eles básicos (componentes do MUB) ou temáticos. Mesmo quando se tem ferramentas metodológicas para organizar a atualização [DaZu95a, DaZu95b, Cost01, VCB+99], essa grande variedade de classes de objetos acaba por exigir a intervenção de especialistas em cada área, tornando a centralização da tarefa algo bastante difícil.

Além disso, as alternativas tecnológicas disponíveis no mercado até o final da década de 1990 não ofereciam recursos adequados para a integração dos bancos de dados geográficos aos sistemas de informação convencionais gerenciados por uma administração municipal, tais como sistemas tributários (imposto predial e territorial, imposto sobre serviços), sociais (educação, saúde) e de infra-estrutura (limpeza urbana, transportes, trânsito) [Cama00]. Isso fez com que grande parte das implementações de SIG em prefeituras brasileiras, em especial as de

grande porte, ficasse desconectada dos sistemas de informação convencionais, ditos *legados*, responsáveis tradicionais pelo gerenciamento de tais tarefas. A atualização dos bancos de dados desses sistemas convencionais é constante, decorrente do trabalho de atendimento aos cidadãos nos guichês municipais, dificultando a sincronização entre esses dados e os elementos de georreferenciamento dos mesmos, gerenciados pelo SIG.

Outra consequência da grande variedade de aplicações é a constatação, por parte dos diversos grupos de usuários envolvidos, de que existem pontos fortes e pontos fracos em cada produto SIG disponível no mercado, considerando o ponto de vista de sua área específica de aplicação. Cada SIG tem um histórico de evolução baseado em uma área básica de aplicação, tendo posteriormente evoluído para funcionar com uma gama maior de funções [DaFo99]. Mesmo com a ampliação da funcionalidade, a maior maturidade do desenvolvimento dessa área básica de aplicação acaba proporcionando uma vantagem competitiva sobre outros SIG. O ideal seria possibilitar que SIG diferentes, cada qual forte em uma gama de aplicações, pudessem compartilhar o mesmo banco de dados geográfico, efetivamente *interoperando*<sup>3</sup>, sem a necessidade de replicação ou mudança de formato de armazenamento dos dados.

A solução para os problemas mencionados exige uma arquitetura diferenciada para o SIG, em que seja viável a implementação de sistemas de informação geográficos robustos o suficiente para ocupar o lugar dos sistemas convencionais, proporcionando a integração dos dados geográficos e alfanuméricos em um único ambiente operacional. Assim como no caso dos sistemas convencionais, no caso de prefeituras de grande porte esse novo ambiente também precisa ser operado a partir de equipamentos espalhados por toda a cidade, viabilizando a prestação de serviços ao cidadão em todos os pontos de presença da prefeitura. Por outro lado, se para isso fosse necessário ter uma licença de uso de SIG em cada ponto de acesso, toda a idéia seria inviabilizada economicamente.

Este artigo apresenta alternativas tecnológicas para enfrentar alguns dos problemas e desafios expostos nos parágrafos anteriores, ou seja:

- construir um ambiente SIG *apoiado em padrões*, em que possa existir a livre escolha de fornecedores de soluções;
- *integrar* o banco de dados geográfico aos bancos de dados convencionais, mantendo o sincronismo entre eles;
- *distribuir* as responsabilidades de atualização;
- *aumentar a capilaridade* de acesso aos dados geográficos;

---

<sup>3</sup> O conceito usual de *interoperabilidade* refere-se à qualidade inerente a vários sistemas autônomos que permite que os mesmos operem em colaboração, reunindo esforços e capacidades [Vcko98]. Esse conceito pode ter diversas traduções, dependendo das características do ambiente computacional, podendo variar entre a interface do hardware a protocolos de comunicação, passando pelo estabelecimento de formatos padrão de armazenamento de dados. Interoperabilidade se distingue de *compatibilidade* principalmente pelo aspecto dinâmico que está implícito no primeiro conceito. Neste artigo, nos interessa especificamente a capacidade de compartilhamento de um único banco de dados, de estrutura padronizada, por parte de diversos produtos SIG.

- oferecer uma maior *liberdade de escolha* das ferramentas SIG;
- prover alternativas *sem custo* ou de *baixo custo* para acesso aos dados geográficos.

A alternativa apresentada faz parte de um projeto de reestruturação tecnológica do ambiente de geoprocessamento da Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL) e da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH). Grande parte das preocupações originais do projeto decorre de problemas vividos na primeira década de utilização da tecnologia de geoprocessamento na PBH, tais como o gerenciamento de um grande volume de dados, a necessidade de intensificação e descentralização do acesso, e as enormes deficiências de suporte por parte do principal fornecedor de software [BoSa00]. Essa reestruturação foi adiada algumas vezes, principalmente devido à percepção de que uma simples mudança de plataforma não traria benefícios para a PBH capazes de compensar o investimento, ao contrário da proposta aqui descrita. Essa nova arquitetura teve sua concepção baseada em experiências anteriores envolvendo interoperabilidade e capilarização do acesso a dados geográficos [Fons97, Roch00] e está atualmente em processo de implantação na PRODABEL.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira. Na Seção 2 são apresentados parâmetros básicos da arquitetura interna dos SIG tradicionais. A Seção 3 traz um maior detalhamento dos requisitos tecnológicos para um ambiente SIG que funcione de maneira interoperável, aberta e distribuída em rede. A Seção 4 apresenta uma proposta de arquitetura que atende a esses requisitos. A Seção 5 apresenta, brevemente, os desafios tecnológicos, organizacionais e administrativos colocados para a implementação prática dessa arquitetura e sua otimização em uma administração pública municipal. Por fim, a Seção 6 apresenta conclusões e algumas recomendações para projetos semelhantes.

## 2. ARQUITETURA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICOS

Embora a maior parte dos usuários (e mesmo os especialistas) de SIG consiga trabalhar com os produtos existentes no mercado apenas conhecendo sua funcionalidade, uma escolha bem fundamentada do produto ideal para determinada tarefa exige desenvolver uma visão mais apurada da estrutura interna de cada um dos candidatos. Uma análise da arquitetura de cada SIG pode comprovar a existência e indicar a importância relativa dos pontos fortes e fracos do produto, considerando as necessidades de uma aplicação específica. Esses pontos fortes ou fracos têm influência decisiva em aspectos como o desempenho, a capacidade de gerenciamento de grandes bases de dados, a capacidade de utilização simultânea por múltiplos usuários e a capacidade de integração com outros sistemas de informação [DaFo99].

Apesar das diferenças estruturais constatadas na análise da arquitetura dos SIG, é importante observar que SIG são sistemas de informação como quaisquer outros, e portanto são necessariamente dotados de recursos para gerenciar a interface com o usuário (*Graphical User Interface*, GUI), a entrada e validação de dados, o armazenamento e recuperação, o processamento e a geração de saídas. As características peculiares dos dados geográficos, no entanto, influenciam fortemente as estruturas de armazenamento de dados, sendo que nesse ponto cada sistema manifesta, em sua arquitetura, um conjunto de preferências e compromissos. O objetivo desta seção não é comparar a *qualidade* da implementação de cada arquitetura nos sistemas comerciais disponíveis atualmente, nem discutir quais classes de aplicação são mais apropriadamente atendidas por uma ou outra arquitetura, mas sim apresentar e analisar as *diferenças conceituais* entre esses sistemas, como forma de demonstrar a dificuldade que existe em fazer com que os SIG consigam efetivamente interoperar.

As subseções seguintes apresentam as alternativas mais comuns de arquitetura de SIG utilizadas em produtos comerciais disponíveis atualmente, porém sem esgotar o tema. Em [DaFo99] é apresentada uma análise mais ampla e mais aprofundada, originalmente desenvolvida para auxiliar no processo de escolha de SIG para aplicações específicas.

## 2.1 SIG Tradicional

A Figura 1 apresenta um diagrama de blocos que indica a arquitetura interna dos SIG ditos “tradicionais”, uma vez que corresponde à dos primeiros produtos comerciais. À época de sua concepção, a novidade estava na integração de dados gráficos a dados alfanuméricos em um mesmo ambiente.

O principal aspecto dessa arquitetura está justamente na forma de gerenciamento dos dados gráficos e alfanuméricos. A opção implementada pelos desenvolvedores inclui a codificação dos dados gráficos em estruturas proprietárias, ou seja, estruturas de dados concebidas e implementadas internamente ao produto, como todas as demais funções do SIG, e tratadas como segredo comercial. Assim, os dados geométricos são codificados em arquivos binários, cuja leitura e correta interpretação só podem ser feitas por quem conheça a estrutura de codificação, um conhecimento restrito aos técnicos do próprio desenvolvedor.

A codificação dos dados alfanuméricos segue a mesma lógica, embora aqui não haja a preocupação com a ocultação da forma de armazenamento. É em geral adotada uma estrutura tabular simples, semelhante à dos primeiros sistemas gerenciadores de bancos de dados (SGBD) relacionais, com registros de tamanho fixo. O tratamento dos dados alfanuméricos é feito em um ambiente proprietário de gerenciamento de bancos de dados, sendo esse ambiente totalmente integrado ao produto, não tendo vida própria fora dele.

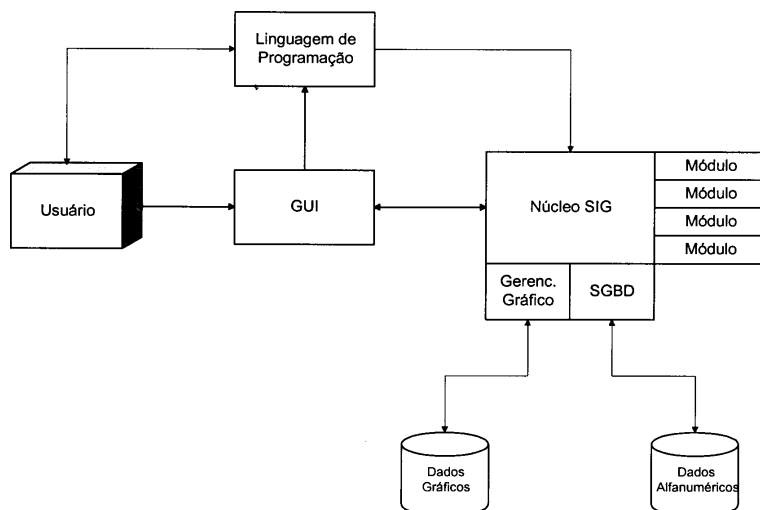


Figura 1 – SIG tradicional

A arquitetura tradicional rapidamente evoluiu para a apresentada na Figura 2. A única diferença está na adoção de um SGBD externo, não necessariamente desenvolvido pela mesma equipe que desenvolveu o SIG, para gerenciar os dados alfanuméricos. Essa opção reflete principalmente uma intenção de não “reinventar a roda”, utilizando produtos disponíveis no mercado para realizar parte das tarefas do SIG. A implementação pouco muda conceitualmente, sendo que a tarefa de desenvolver o núcleo fica bastante facilitada.

Do ponto de vista do usuário, essa evolução abre a possibilidade de se ter aplicações convencionais, concebidas e desenvolvidas dentro do ambiente do SGBD relacional, compartilhando os atributos alfanuméricos dos objetos geográficos. O problema é que, como o SGBD relacional não conhece a estrutura gráfica proprietária, existe o risco de se introduzir inconsistências, quebrando a integridade referencial que deve existir entre a representação geométrica e os atributos de cada objeto geográfico. Assim, a manipulação dos atributos alfanuméricos de dados geográficos só pode ser feita de maneira criteriosa, dentro de controles rígidos que precisam ser implementados pela aplicação, uma vez que nem o SIG nem o SGBD oferecem recursos para garantir, sozinhos, a integridade dos dados. Observe-se que este tipo de problema poderia ocorrer também no caso anterior, mas como o acesso aos dados gráficos e alfanuméricos é feito apenas através do SIG, tem-se um ambiente mais controlado, embora menos integrável a sistemas convencionais.

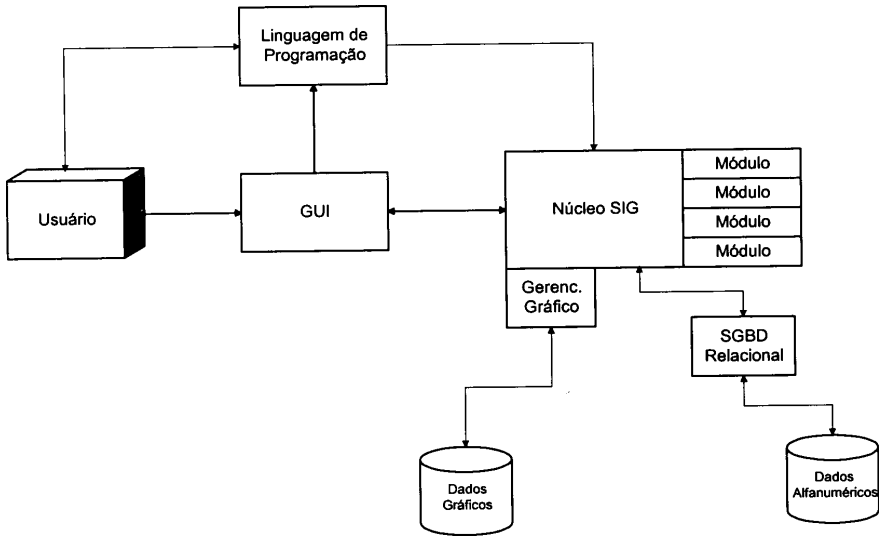


Figura 2 – SIG tradicional (evolução)

## 2.2 SIG Baseado em CAD

Uma extensão lógica do raciocínio que levou ao armazenamento de dados alfanuméricos em SGBD relacionais foi a implementação do gerenciamento dos dados gráficos através de ferramentas também disponíveis no mercado. No caso, as ferramentas gráficas que melhor se adaptam às necessidades do SIG são os sistemas CAD (*Computer Aided Design*). Como no caso anterior, ficou nítido para alguns desenvolvedores de SIG que a reimplementação das funções de edição gráfica e de gerenciamento de arquivos gráficos, típicas de sistemas CAD, seria mais uma vez “reinventar a roda”. Assim, tem-se a arquitetura apresentada na Figura 3, em que o núcleo do SIG trata principalmente da integração entre um gerenciador gráfico (CAD) e um gerenciador alfanumérico (SGBDR), além de implementar e tornar disponíveis funções geográficas básicas.

Essa alternativa de arquitetura tem dois grandes problemas principais. O primeiro, e mais grave, é a grande facilidade que se tem em introduzir inconsistências no banco de dados geográfico, de forma semelhante à relatada no exemplo anterior. Basta algum usuário ter acesso aos dados gráficos, por exemplo usando diretamente o software CAD: se alguma entidade gráfica for deletada, o registro alfanumérico correspondente ficará isolado. O registro não será também deletado pelo SGBD relacional, pois o mesmo não é informado dessa operação, realizada exclusivamente no ambiente do CAD. Da mesma maneira, um usuário com acesso ao SGBD relacional pode deletar algum registro associado a um dado gráfico, causando o efeito inverso. Só com o uso exclusivo dos dados através do núcleo do SIG pode-se pretender garantir a consistência gráfico-alfa.

O segundo problema com este enfoque está na utilização das estruturas de arquivo do CAD para armazenar os dados gráficos. Os sistemas CAD não dispõem de recursos de indexação espacial e acessam seus arquivos de forma seqüencial. Assim, têm um desempenho que os impede de ter arquivos muito grandes, uma vez que o custo computacional de acesso a dados organizados seqüencialmente é muito alto.

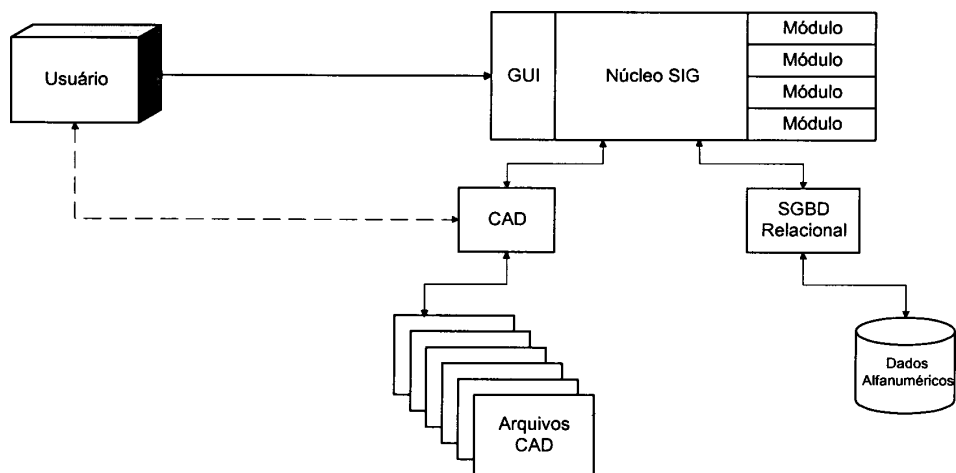


Figura 3 – SIG baseado em CAD

### 2.3 Desktop Mapping

Sistemas *desktop mapping* são uma classe de aplicações de geoprocessamento que se concentram em facilitar as atividades de apresentação de informações sob o formato de mapas. Não são, apesar disso, sistemas totalmente adequados para atividades de cartografia automatizada, pois não contam com recursos muito sofisticados em termos de entrada e validação de dados. Também não são adequados para gerenciar um grande volume de informações, uma vez que sua estrutura de arquivos tende a ser bastante simples, e é freqüente a utilização direta de arquivos gráficos ou alfanuméricos de outros aplicativos. Com isso, sistemas *desktop mapping* ajudam a promover a integração de dados de diversas fontes, já que oferecem um ambiente onde esses dados podem ser trabalhados simultaneamente.

Quando os dados são codificados no formato proprietário do sistema pode-se ter alguns recursos voltados à melhoria do desempenho, tais como indexação espacial. Mesmo assim, os sistemas *desktop mapping* não apresentam recursos mais sofisticados de gerenciamento de bancos de dados, mantendo cada classe de objetos em um conjunto de arquivos separado das demais classes (Figura 4).

Não existem também controle de concorrência, recursos de recuperação de dados nem o conceito de transações.

O ponto forte dessa classe de aplicações está precisamente na facilidade de integração de dados de diversas fontes, além das excelentes facilidades para produção de mapas temáticos plotados. Como se trata de aplicações voltadas especificamente para o usuário final, ou seja, aquele profissional de uma determinada área de interesse que deseja produzir um mapa para compor um relatório, ou mesmo para facilitar alguma análise espacial, são em geral ferramentas desenvolvidas no ambiente Windows. Têm custos relativamente baixos, apresentando constante tendência de queda. No entanto, vêm nos últimos tempos apresentando a tendência a incorporar cada vez mais funções, de modo que alguns já estão sendo denominados *desktop SIG*.

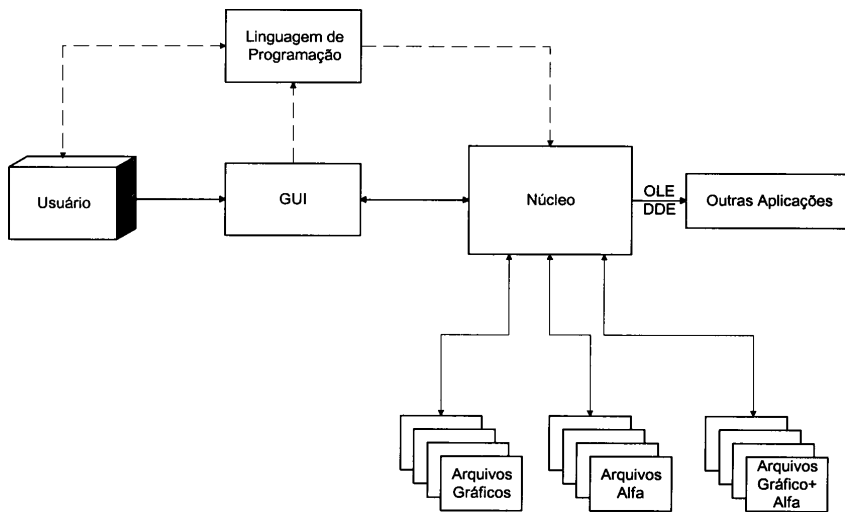


Figura 4 – Desktop mapping

### 3. REQUISITOS TECNOLÓGICOS E DESAFIOS ORGANIZACIONAIS

Observando a arquitetura das soluções disponíveis, constata-se que, até o final da década de 1990, nenhum software comercial para SIG havia incorporado recursos que permitissem, efetivamente, acessar os dados gerenciados por ele a partir de outros sistemas de informação. O contrário, no entanto, poderia ser feito, por conta e risco do usuário. Também a incompatibilidade entre os diversos produtos comerciais para SIG era um traço marcante do estágio de evolução da tecnologia até aquele momento e um reflexo do caminho de evolução da arquitetura interna de cada produto. Na maioria dos casos, os usuários desses sistemas podiam contar apenas com ferramentas capazes de traduzir formatos de arquivos gerados por seus concorrentes e, ainda assim, com muitas imperfeições e problemas [Davi02a, Yuac02].

Por outro lado, a necessidade de cooperação entre órgãos e empresas públicas para a manutenção de bancos de dados geográficos, em especial em áreas urbanas densamente habitadas, vem se tornando cada vez maior. Na realidade dos grandes municípios brasileiros, particularmente, tal cooperação faz muito sentido, uma vez que pode significar o compartilhamento do custo de geração e manutenção do MUB entre prefeitura, concessionárias e, eventualmente, iniciativa privada. De fato, no caso urbano a cooperação pode se estender além do MUB, uma vez que existem dados que são de interesse específico de concessionárias e que são úteis para a administração municipal, e vice-versa. Um esquema de cooperação com troca indiscriminada de informação, baseada no interesse público, pode ser bastante interessante [Davi95a, Davi02a, PRC02].

Caso o enorme desafio institucional e organizacional dessa cooperação, que corresponde a vencer as resistências políticas e as desconfianças entre órgãos de diferentes esferas de poder, seja vencido, resta ainda o desafio tecnológico. Não há como obrigar cada instituição participante do processo a utilizar o mesmo SIG, e portanto uma solução para o intercâmbio de informações entre SIG diferentes precisa ser adotada. Uma maneira imediata de implementar essa troca de informação seria estabelecer uma rotina de importação e exportação de dados entre as partes, adotando-se um formato de intercâmbio conveniente. Essa alternativa vem sendo explorada nos países desenvolvidos, em que organismos normativos estabeleceram padrões nacionais para o intercâmbio de informação geográfica, tais como o *Spatial Data Transfer Standard* (SDTS) nos Estados Unidos e o *Spatial Archive and Interchange Format* (SAIF) no Canadá [Mont00]. No Brasil, algumas iniciativas isoladas têm acontecido, porém por iniciativa acadêmica ou de grupos de usuários, sem o suporte dos órgãos oficiais de cartografia nem das instâncias normativas [Davi95b, Alme99, CMP+00, LCP+01].

Uma alternativa ao uso de formatos de intercâmbio é a busca da interoperabilidade para os SIG [FD99]. A idéia baseia-se no estabelecimento de padrões de codificação do componente espacial dos dados geográficos na camada do banco de dados, juntamente com a padronização da comunicação entre banco de dados e SIG. O primeiro desafio foi enfrentado pelo *Open GIS Consortium*, que estabeleceu um patamar mínimo de codificação geométrica, denominado *Simple Features Specification* [OGIS99]. O segundo vem tomando a forma de uma especialização da linguagem XML (*eXtensible Markup Language*) para geoprocessamento, denominada GML [BuMc96 *apud* LCP+01].

Com a implementação desses padrões, torna-se visível uma tendência em direção à separação definitiva entre SIG e SGBD, sendo que este último passa a assumir funções especializadas de gerenciamento de dados geográficos, o que necessariamente inclui recursos como indexação espacial, funções topológicas, relacionamentos espaciais e gerenciamento de restrições de integridade espaciais [BDL02]. Os desenvolvedores de SIG, acompanhando a tendência, passam a

oferecer a possibilidade de integração direta entre seus produtos e os SGBD padronizados, simplificando o esforço de desenvolvimento voltado para o gerenciamento de grandes volumes de dados geográficos. Aplicações de pequeno porte ainda podem ser atendidas por produtos dentro das arquiteturas tradicionais, mas uma fase de transição está definitivamente inaugurada, em particular para aplicações que demandam robustez, estabilidade e capacidade de gerenciamento de grandes volumes de informação, como é o caso de SIG urbanos.

## **4. ARQUITETURA PROPOSTA**

A partir do momento em que um SGBD espacial independente do SIG torna-se disponível, juntamente com um conjunto de alternativas SIG dotadas de uma interface padronizada com esse SGBD, uma estruturação completamente nova do ambiente de geoprocessamento pode ser implementada.

Em primeiro lugar, como os dados geográficos passam a ser gerenciados exclusivamente por um SGBD padronizado, o formato de armazenamento específico do SIG perde importância. Também os formatos de intercâmbio perdem importância, uma vez que seria possível para SIG diferentes compartilhar os mesmos dados, no mesmo SGBD – e, se necessário, armazená-los localmente no formato julgado mais conveniente.

Apesar disso, um esforço recente de prospecção, desenvolvido pela PRODABEL, na tentativa de encontrar SGBD com tais características, revelou que ainda há pouca disponibilidade de produtos comprovadamente *Open GIS Compliant* (OGC), ou seja, compatíveis com as normas do *Open GIS Consortium* [BuMc96, OGIS99], nesta camada. Existe, no entanto, uma razoável variedade de produtos SIG compatíveis com os padrões OGC<sup>4</sup>, incluindo os principais candidatos ao gerenciamento de problemas de maior volume e complexidade, adequados ao caso específico de municipalidades de grande porte.

Como não poderia deixar de ser, o SGBD geográfico padrão OGC tem um papel central na arquitetura proposta, apresentada esquematicamente na Figura 5. Considerando novamente o caso de SIG aplicado em municípios de grande porte, estão previstas funções diferenciadas para a equipe de produção e manutenção do MUB, para as equipes de órgãos e secretarias temáticas e para órgãos que são apenas usuários dos dados geográficos. No primeiro caso, as funções necessárias estão concentradas nos aspectos de edição ou manutenção do banco de dados geográfico. Uma estrutura semelhante deve ser requerida também em outros órgãos produtores e usuários de informação geográfica, porém voltada

---

<sup>4</sup> O Consórcio OpenGIS publica, em seu *web site*, uma relação dos produtos que afirmam ser compatíveis com suas especificações, e uma relação dos produtos efetivamente testados pelo consórcio e considerados efetivamente compatíveis. A maior parte dos produtos comerciais está incluída apenas na primeira lista e alguns que se dizem compatíveis nem mesmo figuram nela.

para dados temáticos dentro da área específica de atuação de cada órgão portanto dotada de recursos adicionais de análise espacial ou outras funções específicas. Note-se que cada órgão pode utilizar uma ou mais alternativas de SIG, aproveitando a interoperabilidade conferida pelo uso do padrão OGC, de acordo com o melhor ajuste da funcionalidade do produto às necessidades específicas do órgão. Por fim, existem órgãos que necessitam apenas ter acesso à informação geográfica para consulta, e portanto podem usar software de mais baixo custo e funcionalidade mais simples.

Em paralelo à necessidade de consulta simples ao banco de dados, existe demanda para integração do banco de dados geográfico a sistemas de informação tradicionais. Essa área de aplicação está sendo fortemente beneficiada por iniciativas de construção de bibliotecas *open source* ou *livres* de componentes para SIG, tais como TerraLib [CSP+00, CVS+01]. A disponibilidade de tais bibliotecas é estratégica para administrações municipais, que podem assim desenvolver soluções particulares ao redor desses componentes livres e gratuitos, evitando produtos proprietários. As administrações municipais, com isso, economizam recursos, e portanto devem retribuir, colaborando com a comunidade no esforço de manutenção e aperfeiçoamento dessas bibliotecas, bem como desenvolvendo e tornando livremente disponíveis componentes ligados às aplicações urbanas típicas.

Outro componente importante da arquitetura é a capacidade de gerenciar grandes volumes de imagens digitais e integrá-las ao conteúdo do banco de dados vetorial por meio do SIG. Para isso, um servidor de imagens foi incorporado ao diagrama da Figura 5. Essa configuração permite que se distribua acesso às imagens também através da Web, de maneira independente do acesso via SIG. No entanto, é possível que, no futuro, os SGBD padrão OGC venham a incorporar funções para o gerenciamento de imagens como objetos.

A Figura 5 indica ainda a possibilidade de integração dos ambientes de produção e uso de dados geográficos através de uma Intranet, que no caso de Belo Horizonte é denominada Rede Municipal de Informática (RMI). Com isso, configura-se um ambiente *distribuído*, uma vez que os dados estão espalhados pela rede e têm sua manutenção e operação descentralizada. Ao longo do processo de implantação, existem oportunidades para que se defina onde e como distribuir os dados, exercendo opções de projeto quanto à necessidade ou não de replicação e quanto às políticas de segurança, controle de concorrência e *backup*.

Assim, a arquitetura de banco de dados aqui proposta deve ser, a um só tempo, interoperável e distribuída de modo a suportar, de forma integrada no ambiente de processamento, múltiplos sistemas de informação geográficos e sistemas legados, para acesso em rede. Existem quatro áreas básicas de especial interesse, claramente delimitadas, que compõem o espaço de uso desse mo-

delo para a produção, atualização e disseminação do MUB de administrações municipais de grande porte:

- edição de base de dados vetorial para manutenção da informação geograficamente referenciada;
- análises e geração de saídas (mapas temáticos, relatórios, estatísticas) para planejamento de ações e apoio à decisão;
- publicação de mapas e dados alfanuméricos no ambiente Web, para oferecer serviços e informações ao cidadão, bem como para aumentar a quantidade de usuários potenciais dos dados geográficos na Intranet;
- acesso via sistemas de informações convencionais, que podem ou não fazer uso do componente espacial dos dados.

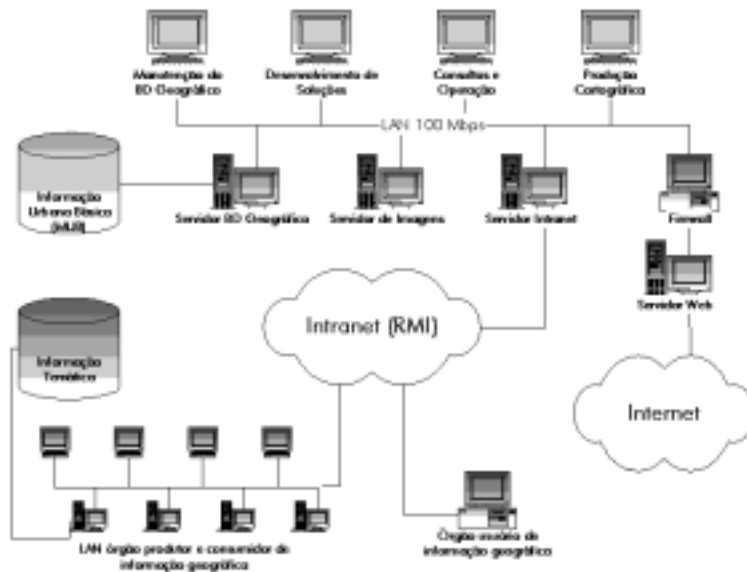


Figura 5 – Arquitetura proposta

As alternativas de utilização acima apresentadas não são mutuamente excludentes, mas complementares e devem ser consideradas à luz das políticas públicas traçadas e das conseqüentes estratégias de atendimento ao cidadão e de gestão municipal. Assim, as opções técnicas poderão se adequar às determinações políticas, sendo implementadas em conformidade com o modelo administrativo, dando forma e visibilidade às ações de governo em diversas áreas. Por exemplo, se a opção administrativa adotada for a gestão descentralizada com distribuição dos serviços de atendimento ao cidadão, será preciso que o modelo de banco de dados seja implementado segundo o mesmo modelo, tornando a informação disponível para os pontos de atendimento onde é solicitada.

## 5. DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO

A arquitetura proposta na seção anterior tem sido objeto de testes e avaliações por parte da equipe da PRODABEL desde o início de 2001. Por meio desses testes, pôde-se avaliar a distância que existe entre a sua concepção teórica e a implementação efetiva para suporte ao ambiente SIG da Prefeitura de Belo Horizonte.

O primeiro problema prático está relacionado com a maneira com que cada desenvolvedor implementou os recursos de acesso ao banco de dados OGC. Embora o *Simple Features Specification* represente um grande avanço em direção à verdadeira interoperabilidade em SIG, o fato é que a padronização ainda se restringe à codificação da forma geométrica dos objetos [Davi01], incluindo as coordenadas geográficas de seus vértices. Essa codificação padronizada determina a estrutura de uma classe de objetos, cujas instâncias são tipicamente armazenadas pelo SGBD objeto-relacional em uma coluna de uma tabela.

Partindo dessa definição de objetos geográficos codificados em uma coluna, os desenvolvedores de SIG têm a liberdade de determinar o esquema físico das tabelas que irão utilizar no SGBD. Com isso, podem considerar seus produtos compatíveis com os padrões OGC mesmo quando o esquema adotado constitui uma restrição ao acesso de outros SIG aos dados armazenados no SGBD geográfico.

É fácil verificar, analisando o comportamento do diversos produtos SIG que atendem ao padrão OGC em sua ligação com o SGBD, a influência da arquitetura original de cada um sobre o esquema físico adotado. As alternativas adotadas podem ser divididas em três grupos:

1. Armazenamento de todas as representações geométricas de todos os objetos de todas as classes em uma única tabela, relacionando esta tabela por meio de uma chave estrangeira com diversas outras tabelas, cada qual contendo os atributos alfanuméricos de uma classe específica (Figura 6).
2. Armazenamento da representação geométrica em uma coluna de uma tabela, relacionada com outra tabela contendo os atributos alfanuméricos da classe de objetos através de uma chave estrangeira (Figura 7).
3. Armazenamento da representação geométrica e dos atributos alfanuméricos de uma classe de objetos como colunas da mesma tabela (Figura 8).

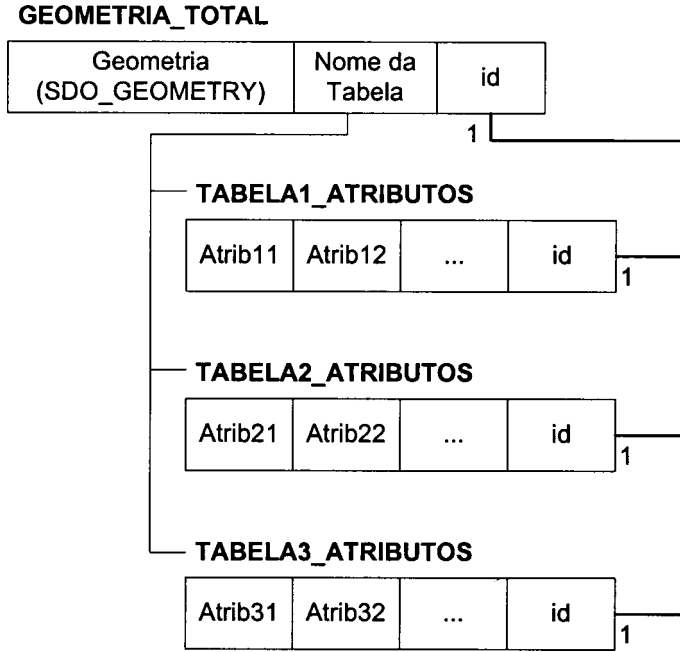


Figura 6 – Alternativa 1: geometrias concentradas em uma única tabela

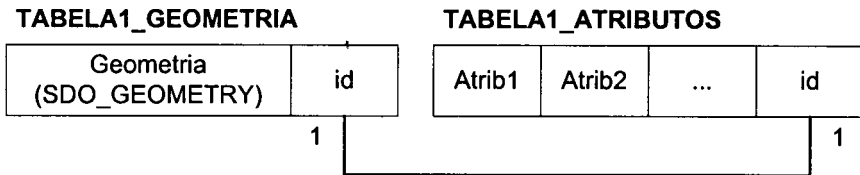


Figura 7 – Alternativa 2: um par de tabelas para cada classe georreferenciada

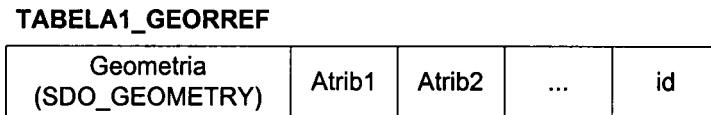


Figura 8 – Alternativa 3: geometria e atributos na mesma tabela

A alternativa 1 obviamente introduz um desequilíbrio no SGBD, fazendo com que todas as consultas e operações envolvendo dados geométricos passem pela única tabela que os armazena. Em um banco de dados dotado de um volume razoavelmente grande de dados geográficos, essa tabela pode rapidamente se tornar um gargalo para todo o sistema. Por outro lado, pode-se imaginar que a indexação espacial e as operações topológicas entre classes de objetos sejam eventualmente beneficiadas pela integração das representações geométricas em uma única tabela. É também possível imaginar vantagens quanto

ao acesso às tabelas de atributos alfanuméricos, que se tornam menos volumosas pela separação das representações geométricas. Esse esquema foi adotado por alguns SIG no passado, com relativo sucesso.

A alternativa 2 destaca-se por sua flexibilidade, apesar de exigir a navegação entre tabelas ou a realização de operações de *join* para que se possa resgatar a estrutura completa de cada objeto geográfico. A separação dos atributos alfanuméricos em uma tabela independente facilita a integração com aplicações convencionais. A implementação da restrição de integridade referencial entre as duas tabelas é, no entanto, indispensável – o que pode se constituir em um problema para a implementação de aplicações exclusivamente alfanuméricas e que pretendam operar sobre esses dados.

A terceira alternativa é a que mais se assemelha à concepção de objetos geográficos adotada pelo modelo OMT-G, desenvolvido e utilizado na PRODABEL [BDL01]. Cada tupla de cada tabela passa a corresponder a uma instância de um objeto, sendo que a tabela contém todas as instâncias de uma determinada classe. No momento atual, em que não se realizou nenhum teste mais aprofundado para comparar o desempenho do SGBD geográfico com cada uma dessas alternativas, a alternativa 3 parece ser a mais simples e mais conservadora.

Observe-se que esquemas baseados na primeira alternativa podem ser facilmente mapeados para a segunda, dividindo a grande tabela de dados geométricos em várias (o que pode ser feito usando o mecanismo de visões). Também podem ser mapeados para a terceira, pela realização de um *join* após a separação da tabela geométrica em várias, o que também pode ser feito usando visões. O mesmo raciocínio pode ser empregado para implementar um mapeamento entre a alternativa 2 e a alternativa 3, ou vice-versa.

Uma alternativa adicional consiste na implementação de uma terceira tabela para viabilizar um relacionamento *n:m* entre representações geométricas e atributos alfanuméricos, dando ao usuário a possibilidade de combinar esses aspectos de acordo com a sua necessidade (Figura 9). Essa terceira tabela deve manter uma chave composta, que combina uma chave da tabela de representações geométricas com outra da tabela que contém os atributos. Com isso seria possível, por exemplo, manter simultaneamente uma representação cartográfica e uma representação esquemática de uma rede de distribuição de energia. A situação oposta (várias tuplas de atributos relacionadas a uma única representação geométrica) também pode ser útil. Existem diversas aplicações que armazenam séries temporais, por exemplo na área de meteorologia: cada tupla conteria dados meteorológicos obtidos em uma localidade em um determinado dia e horário, e a chave composta seria formada pelo identificador da estação meteorológica e pela data e hora da medição.

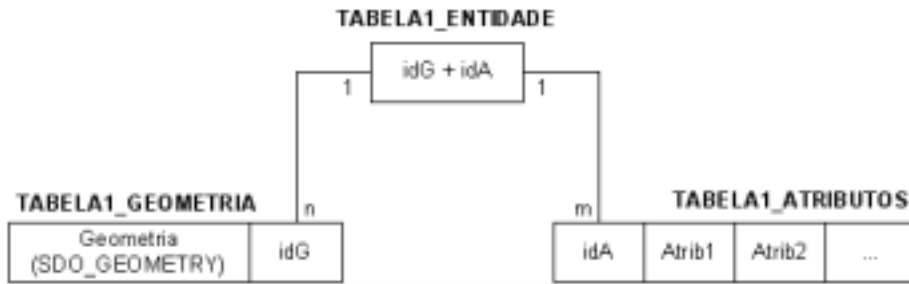


Figura 9 – Alternativa 4: múltiplas representações e/ou múltiplos conjuntos de atributos

Quando da avaliação de produtos conduzida na PRODABEL, verificou-se que, embora cada SIG procure implementar no SGBD um esquema físico de sua conveniência, alguns produtos possuem flexibilidade suficiente para utilizar um esquema diferente, caso seja de interesse do usuário. Outros exigem o desenvolvimento de rotinas especiais para permitir o uso de esquemas alternativos, porém alguns não contam nem mesmo com esse recurso. Do ponto de vista do usuário, o ideal seria poder contar com amplas possibilidades de definição do esquema físico, desde que utilizando as *Simple Features Specifications* do Consórcio OpenGIS para a codificação geométrica [OGIS99]. Por enquanto isso não ocorre na grande maioria dos produtos, dando a impressão de que se trata de uma estratégia comercial para dificultar a adoção de produtos diferentes no mesmo ambiente operacional.

Com isso, a estratégia de implementação adotada na PRODABEL consistiu na adoção de uma das quatro alternativas (no caso, foi escolhida a alternativa 3) e na aceitação apenas dos produtos SIG que pudessem se adaptar a ela, respeitando os padrões OGC. Quaisquer outros produtos estão descartados, até que futuras versões ou customizações desenvolvidas pelos fornecedores possam torná-los compatíveis tanto com o banco de dados quanto com o esquema padronizado pela PRODABEL.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ainda restam algumas questões tecnológicas a respeito da arquitetura proposta, em particular quanto às exigências da mesma com relação à rede de comunicação de dados. No entanto, as características pretendidas para a arquitetura, e já verificadas através de testes, confirmam o potencial de integração entre os ambientes convencional e geográfico, a maior liberdade de escolha de produtos SIG e a maior capilaridade no acesso aos dados geográficos. Com isso, a expansão do uso de informações georreferenciadas em administrações municipais de grande porte pode ser alcançada de maneira mais or-

ganizada e integrada do que foi possível até o momento, com a tecnologia disponível no final da última década.

A quarta alternativa de esquema proposta parece ser promissora, na medida em que a preocupação com o aspecto temporal dos dados aumenta. Existem, no ambiente urbano, muitas aplicações que poderiam se beneficiar do armazenamento sistemático de mudanças que, ao contrário da atual estratégia de atualização pura e simples do conteúdo do banco de dados geográfico, permitiriam resgatar aspectos da evolução da cidade. Essa alternativa também permite fazer com que múltiplas representações do ambiente urbano, cada qual adequada para uma área de aplicação, possam conviver no mesmo banco de dados. É importante observar, no entanto, que não existe suporte explícito nos atuais SIG comerciais para a implementação dessa alternativa de esquema. Todo o gerenciamento da integridade entre as tabelas, bem como a sincronização da atualização das múltiplas representações, teria que ser realizado pela aplicação.

A multiplicidade de usos dentro da prefeitura e o excelente potencial para intercâmbio de informações com órgãos e instituições de outras esferas ajudam a justificar os investimentos nessa tecnologia. É possível conceber, dentro de alguns anos, um ambiente multiinstitucional, em que as informações mais atuais de cada um dos diversos agentes públicos que trabalham no território municipal possam ser acessadas pelos demais diretamente em rede, com os devidos controles de segurança implementados, evitando a necessidade de codificação, transferência e decodificação de arquivos de intercâmbio. Esse é um desafio tecnológico que parece simples, em comparação com o desafio organizacional de viabilizar a cooperação efetiva e incondicional entre agentes públicos.

É importante ressaltar que o termo “interoperabilidade”, no sentido conferido por este artigo, refere-se à possibilidade de compor um ambiente heterogêneo para o SIG, em que produtos de diferentes fabricantes possam conviver com um banco de dados padronizado, dando aos diversos grupos de usuários alguma liberdade de escolha quanto à tecnologia a utilizar em cada aplicação. O problema de interoperabilidade em SIG é, no entanto, bem mais complexo do que isso, pois envolve o estabelecimento de acordos sobre os conceitos empregados na criação dos bancos de dados geográficos [Gahe97, Vcko98]. Esse nível mais avançado de interoperabilidade ainda não foi abordado pelo Consórcio OpenGIS, mas já tem nome: *Information Communities Model*, que define comunidades de dados geográficos abertos [BuMc96]. No universo de SIG urbano, no entanto, alguns desses acordos sobre conceitos existem, tacitamente, nas relações entre órgãos e entidades que atuam nas cidades e que precisam compartilhar os acervos e os investimentos realizados em informação, geográfica ou não [Peix00]. Mesmo entre órgãos de diferentes esferas, existem esforços significativos em andamento para estabe-

lecer esses acordos (vide, por exemplo [Davi02b]), indicando que, a partir de plataformas tecnológicas como a apresentada neste artigo, os passos seguintes podem ser viabilizados em futuro próximo.

## **AGRADECIMENTOS**

Clodoveu Davis registra e agradece o apoio concedido a este projeto pelo CNPq, através de um kit recém-doutor, Processo nº 68.0086/01-3.

Os autores agradecem o empenho da equipe de geoprocessamento da PRODABEL neste projeto e reconhecem que este artigo é produto do esforço de todos.

## **KEYWORDS**

*Geographic information systems – Interoperability – Distributed databases – Municipal administration*

## **ABSTRACT**

*In large municipalities, the use of geographic information systems (GIS) should not be restricted to a small set of applications. There is a huge potential for the usage of an urban geographic database in all of the fields in which a municipal administration operates, in special when its integration to conventional information systems, typical in a reasonably organized administration, is achieved. Furthermore, it is necessary to protect public investment in GIS technology by adopting technological alternatives with a strong focus on open standards, so as to allow free software choices from different user groups within the administration, while maintaining a coherent urban geographic database. With these objectives, this paper proposes an interoperable and distributed architecture for urban GIS, with an emphasis on the potential for the integration with conventional databases and on the possibilities for decentralization of routine maintenance tasks.*

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [Alme99] Almeida, L. Padrão CPRMd para Metadados de Cartografia Digital. In *Portfolio, Tecnologia e Produtos em Geoprocessamento*, 22-44. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), Belo Horizonte (MG), 1999.
- [BDL01] Borges, K. A. V., Davis Jr., C. A., Laender, A. H. F. OMT-G: An Object-Oriented Data Model for Geographic Applications. *GeoInformatica* 5:3(221-260), 2001.

- [BDL02] Borges, K. A. V., Davis Jr., C. A., Laender, A. H. F. *Integrity Constraints in Spatial Databases*. In Doorn, J. H., Rivero, L. (editors) *Database Integrity: Challenges and Solutions*. Idea Group Publishing, 144-171, 2002.
- [BoSa00] Borges, K. A. V., Sahay, S. Learning about GIS implementation from a public sector GIS experience in Brazil. In *Proceedings of the IFIP WG-9.4 Conference*. Cape Town, África do Sul, 2000.
- [BuMc96] Buehler, K., McKee, L. (editors) *The OpenGIS Guide – Introduction to Interoperable Geoprocessing and the OpenGIS Specification*. OGIS TC Document 96-001. Open GIS Consortium, 1996.
- [Cama00] Câmara, G. As Roupas Novas do Imperador. *InfoGeo* 2(12):24-26, Editora Espaço Geo, Curitiba (PR), 2000.
- [CMP+00] Câmara, G., Monteiro, A. M. V., Paiva, J. A. C., Souza, R. C. M., d'Alge, J. C. L., Lopes, E., Barbosa, C. C. F., Freitas, U. M. *Intercâmbio de Dados no Brasil: Um Formato Aberto*. Documento de Trabalho da Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI/INPE), 2000. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/geobr/>.
- [Cost01] Costa, C. A. Bases Digitais e Cadastrais: O Controle de Qualidade da PRODABEL. In *Anais do GIS Brasil 2001*, Curitiba (PR), 2001 (em CD-ROM).
- [CSP+00] Câmara, G., Souza, R. C. M., Pedrosa, B. M., Vinhas, L., Monteiro, A. M. V., Paiva, J. A., Carvalho, M. T., Gattass, M. TerraLib: Technology in Support of GIS Innovation. In *Anais do II Workshop Brasileiro de GeoInformática (GeoInfo 2000)*, 126-133, São Paulo (SP), 2000.
- [CVS+01] Câmara, G., Vinhas, L., Souza, R. C. M., Paiva, J. A., Monteiro, A. M. V., Carvalho, M. T., Raoult, B. Design Patterns in GIS Development: The TerraLib Experience. In *Anais do III Workshop Brasileiro de GeoInformática (GeoInfo 2001)*, 95-101, Rio de Janeiro (RJ), 2001.
- [DaFo99] Davis Jr., C. A., Fonseca, F. T. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográficos. In Câmara, G. C., Davis Jr., C. A., Monteiro, A. M. V., Paiva, J. A., d'Alge, J. C. (editores) *Geoprocessamento: Teoria e Aplicações*. Livro on-line, disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.
- [Davi01] Davis Jr., A. Objetos espaciais em banco de dados relacional. *InfoGeo* 3(18):46-48, 2001.
- [Davi02a] Davis Jr., C. A. Intercâmbio de Informação Geográfica: A Experiência de Padronização e Cooperação em Minas Gerais. In Pereira, G. C., Rocha, M. C. F. (editores) *Dados Geográficos: Aspectos e Perspectivas*. Rede Baiana de Tecnologias de Informação Espacial (REBATE), 43-54, 2002.
- [Davi02b] Davis Jr., C. A. Cooperação: o Caso do Mapeamento de Crimes e Policiamento Comunitário. *InfoGeo* 4(24), 2002 (to appear).
- [Davi95a] Davis Jr., C. A. Convênios: vitória do bom senso. *Fator GIS* 3(11):26, 1995.
- [Davi95b] Davis Jr., C. A. *Intercâmbio de Informações Geográficas*. Relatório Técnico, Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte S.A. – PRODABEL, 1995. Disponível em <http://www.pbh.gov.br/PRODABEL/cde>.
- [DaZu95a] Davis Jr., C. A., Zuppo, C. A. Updating urban geographic databases:

- methodology and challenges. In *Proceedings of the Geographic Information Systems / Land Information Systems (GIS/LIS) 1995 Annual Conference*, 1:269-276, Nashville (TN), Estados Unidos, 1995.
- [DaZu95b] Davis Jr., C. A., Zuppo, C. A. Atualização de bases geográficas urbanas: metodologia e desafios. In *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Cartografia*, Sociedade Brasileira de Cartografia, Salvador (BA), 1995.
- [FD99] Fonseca, F. T., Davis Jr., C. A. Using the Internet to Access Geographic Information: an Open GIS Interface Prototype. In Goodchild, M. E., Egenhofer, M. J., Fegeas, R., Kottman, C. (editors) *Interoperating Geographic Information Systems*, 313-324, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [Fons97] Fonseca, F. T. Uma Interface para Acesso a Dados Geográficos pela Internet. Dissertação de Mestrado, Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 1997.
- [Gahe97] Gahegan, M. Accounting for the Semantic Differences Between Various Geographic Information Systems. In *Proceedings of the International Conference on Interoperating Geographic Information Systems (INTEROP'97)*, 18- Santa Bárbara (CA), Estados Unidos, 1997.
- [LCP+01] Lima, P., Câmara, G., Paiva, J. A. C., Monteiro, A. M. V. Intercâmbio de Dados Geográficos: Modelos, Formatos e Conversores. In *Anais do III Workshop Brasileiro de GeoInformática (GeoInfo 2001)*, 122-128, Rio de Janeiro (RJ), 2001.
- [Mont00] Monteiro, R. P. *Intercâmbio de Dados entre Sistemas de Informação Geográficos*. Monografia de especialização, Curso de Especialização em Informática Pública, PRODABEL/IRT-PUC/MG, Belo Horizonte (MG), 2000.
- [OGIS99] Open GIS Consortium, Inc. *OpenGIS Simple Features Specification for SQL – Revision 1.1*, OpenGIS Project Document 99-049, May 5, 1999. Disponível em <http://www.opengis.org/techno/specs/99-049.pdf>
- [Peix00] Peixoto, N. M. A. Metodologia de Criação e Manutenção de uma Base Legal Georreferenciada para Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado, Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 2000.
- [PRC02] Pereira, G. C., Rocha, M. C. F., Carvalho, S. S. Infra-Estrutura de Dados Espaciais: O Caso Baiano. In Pereira, G. C., Rocha, M. C. F. (editores) *Dados Geográficos: Aspectos e Perspectivas*. Rede Baiana de Tecnologias de Informação Espacial (REBATE), 13-30, 2002.
- [Roch00] Rocha, E. A. *Interoperabilidade e Geoprocessamento: Uma Aplicação Utilizando Chamada Remota de Métodos Java*. Dissertação de Mestrado, Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 2000.
- [VCB+99] Vieira, M. G., Cunha, J. C. J., Borges, K. A. V., Davis Jr., C. A. Atualização da base geográfica digital: a experiência de Belo Horizonte com o percurso urbano. In *Anais do GIS Brasil '99* (em CD-ROM), Salvador (BA), 1999.
- [Vcko98] Vckovski, A. *Interoperable and Distributed Processing in GIS*. Taylor & Francis, London, 1998.
- [Yuac02] Yuaça, F. Disponibilização e Intercâmbio de Dados Geográficos. In Pereira, G. C., Rocha, M. C. F. (editores) *Dados Geográficos: Aspectos e Perspectivas*. Rede Baiana de Tecnologias de Informação Espacial (REBATE), 55-63, 2002.