

Múltiplas Representações em Aplicações Urbanas de Sistemas de Informação Geográficos

CLODOVEU A. DAVIS JR.¹

ALBERTO H. F. LAENDER²

¹PRODABEL - Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte,
Av. Presidente Carlos Luz, 1275, 31230-000 Belo Horizonte, MG, Brasil
cdavis@uol.com.br

²DCC/UFMG - Departamento de Ciência da Computação - Universidade Federal de Minas Gerais,
Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brazil
laender@dcc.ufmg.br

Abstract. Considering the costs and the effort associated with the construction of geographic databases, it is important to search for instruments that increase GIS usefulness through data sharing among different user groups, each one of them with a particular set of applications. However, distinct applications often have diverse perceptions of reality, and therefore work with different sets of concepts about the same geographic entity. These differences often require more than one representation for each geographic entity. Thus, if several applications share the same geographic database, the GIS must take over the responsibility to allow multiple representations for each geographic entity, each one of them adequate for a group of applications. This need is particularly important in the case of urban GIS applications, in which there is a wide variety of information classes and potential users, each with its particular needs regarding the representation of the objects. This article presents an analysis of the multiple representations problem in GIS, indicating the need for this feature in urban applications through examples. Alternatives are discussed, and potential problems for the implementation of this feature in GIS are indicated.

Resumo. Considerando os custos e o esforço envolvidos na construção de bancos de dados geográficos, é importante buscar instrumentos que aumentem a utilidade dos SIG através do compartilhamento de dados entre diferentes grupos de usuários, cada qual com seu conjunto particular de aplicações. Entretanto, aplicações distintas freqüentemente implicam em percepções distintas da realidade, e portanto trabalham com conjuntos diferentes de conceitos sobre a mesma entidade geográfica. Essas diferenças freqüentemente demandam mais de uma representação para cada entidade geográfica. Assim, se diversas aplicações compartilham o mesmo banco de dados geográfico, o SIG tem que assumir a responsabilidade de permitir múltiplas representações para cada entidade geográfica, cada qual adequada para um grupo de aplicações. Essa necessidade é particularmente importante no caso de aplicações urbanas de SIG, em que existe uma grande variedade de classes de informação e usuários potenciais, cada um com suas necessidades específicas no que diz respeito à representação dos objetos. Este artigo apresenta uma análise do problema de múltiplas representações em SIG, indicando a necessidade deste tipo de recurso para aplicações urbanas através de exemplos. São discutidas alternativas, e problemas potenciais para a implementação deste recurso em SIG são apontados.

1 Introdução

A preocupação de implementar processos semelhantes aos tradicionalmente empregados em cartografia se reflete na própria arquitetura interna e no esquema de banco de dados adotado na maioria dos sistemas de informação geográficos (SIG) comerciais. Com a intenção de preservar a familiaridade do usuário com a aparência convencional (cartográfica) de fenômenos naturais ou construídos pelo homem, técnicas particulares de organização do banco de dados são incorporadas aos SIG, tornando difícil conceber sistemas de informação espaciais realmente genéricos.

A representação única é uma característica dos SIG tradicionais, que gerenciam o banco de dados como se fos-

se um mapa, pois assumem que o conteúdo seja estático e a escala seja fixa. O ideal seria que os SIG pudessem trabalhar com um conjunto genérico de informações localizadas espacialmente, a partir do qual fosse possível produzir mapas em uma ampla faixa de escalas, e para uma ampla gama de aplicações. O uso de múltiplas representações oferece uma solução interessante para esta limitação, pois permite que aplicações que percebem e modelam o espaço de formas diferentes possam compartilhar um mesmo banco de dados geográfico. Sem esse recurso, o usuário é levado a construir modelos e a desenvolver aplicações que só funcionam bem com uma única representação para cada objeto do mundo real, e com detalhamento adequado para apenas uma determinada faixa de escalas. Aplicações que

demandam a mesma informação, mas com representação ou detalhamento diferente, acabam exigindo a composição de novas camadas, introduzindo *redundância* no banco de dados geográfico e gerando problemas de *consistência* através das atualizações [2]. Em aplicações urbanas de SIG, em particular, a variação de escalas tende a não ser grande, mas a variedade de alternativas de representação dos fenômenos e entidades do ambiente urbano é significativa.

Existem alguns trabalhos relacionados com o problema de múltiplas representações em SIG, embora com enfoques diferentes do apresentado aqui. [[5] propõe um enfoque incremental para a generalização, que pode ser aplicado à atualização de bancos de dados geográficos com múltiplas representações. Esse enfoque explora a modularidade do processo de generalização, analisando dependências entre operadores de generalização. Como resultado, atualizações em uma camada básica podem ser automaticamente propagadas para representações generalizadas. No entanto, problemas de inconsistência topológica entre as representações podem ocorrer [2], e um modelo formal para a detecção e tratamento destas inconsistências é descrito em [[11]. [[4] considera que bancos de dados geográficos com múltiplas representações são uma alternativa à generalização automatizada, uma vez que as ferramentas necessárias de generalização estão ainda em estágio primitivo, e apresenta um ambiente no qual objetos do mundo real são catalogados e associados às representações presentes no banco de dados. Em um enfoque similar, outros trabalhos concentram esforços em estruturas de dados que tentam integrar as diversas representações para cada objeto do mundo real. [[3] descreve uma árvore cartográfica de múltiplas escalas, adequada para substituir uma representação por outra à medida em que operações de *zoom* acontecem.

Complementando esses enfoques, este artigo apresenta estratégias para a implementação de múltiplas representações em SIG, através do uso de operadores geométricos, de generalização cartográfica e de análise espacial. Esses operadores são usados para definir transformações nas representações originais, de modo a produzir representações derivadas ou a produzir apresentações adequadas para algum meio de saída, evitando ainda a redundância e reduzindo o espaço de armazenamento. Com essas ferramentas, é possível especificar a transição entre os níveis conceitual (que inclui a definição de representações) e de implementação do projeto de aplicações geográficas, para permitir a integração de múltiplas representações de maneira significativa e prática.

2 Representação e Apresentação

A incorporação da geometria e da topologia dos objetos

espaciais ao modelo de dados consiste em escolher uma *representação* adequada para cada um deles, que seja capaz de incorporar suas características espaciais, como localização, topologia e forma geométrica. Para isso, existem duas grandes classes de conceitos [8]: *geo-campos*, adequados para representar fenômenos de variação contínua no espaço de interesse, e *geo-objetos*, adequados para representar entidades individualizáveis. O componente espacial de um geo-campo pode ser representado de diversas maneiras [1]: como uma *tesselação*, um conjunto de *isolinhas*, um conjunto de *valores amostrais*, uma *rede triangular irregular* (TIN), ou como *polígonos adjacentes*. O componente espacial de um geo-objeto é usualmente representado por meio de formas geométricas simples, como *ponto*, *linha* e *polígono*. Além disso, a representação de um geo-objeto pode incluir sua função em uma rede, como *nó*, *arco unidirecional* ou *arco bidirecional*. Esta classificação de tipos de representação será usada ao longo do artigo.

A representação de um objeto espacial não determina completamente sua *aparência visual*, ou seja, a forma segundo a qual o objeto será apresentado ao usuário, na tela ou em papel. A cada representação correspondem uma ou mais *apresentações*, alternativas de visualização adequadas para comunicar o significado dos dados geográficos de acordo com as necessidades da aplicação. Assim, é necessário ter clareza sobre a distinção que existe entre *representação* e *apresentação* dos dados geográficos. Este trabalho usa o termo *representação* no sentido de *codificação da geometria* dos objetos espaciais (envolvendo aspectos como resolução, dimensão espacial, precisão, nível de detalhamento e comportamento geométrico), e o termo *apresentação* no sentido de *visualização* ou *aparência gráfica* (envolvendo parâmetros como cor, tipo de linha, espessura e padrão de preenchimento) dos geo-objetos ou geocampos.

3 A Necessidade de Múltiplas Representações em SIG

A construção de bancos de dados geográficos não pode ficar restrita aos paradigmas cartográficos, uma vez que a demanda por informações georreferenciadas vem se tornando cada vez mais ampla e complexa [9]. Os limites típicos da cartografia, como escalas fixas e a divisão da área de estudo em folhas de mapa, deixam de ser aceitáveis. Os elevados custos de formação de bancos de dados geográficos contribuem para que se desenvolvam esforços visando ampliar a utilização dos dados, promovendo o compartilhamento entre diversas aplicações.

“A *informação geográfica pode ser mais rica* (do que a *informação cartográfica*), *a menos que permaneça meramente uma duplicação digital de mapas básicos já existentes*” [6]. É necessário, portanto, que o SIG gerencie

um banco de dados geográfico de uso múltiplo, a partir do qual seja possível extrair, no mínimo, as formas de apresentação de dados usualmente adotadas pela cartografia, em diversas escalas, diversas simbologias e densidade de informações adequada. Além disso, deseja-se que a aparência visual dos componentes do mapa seja adequada ao uso previsto pela aplicação.

Assim, a demanda por múltiplas representações em SIG decorre de dois requisitos básicos: (1) a necessidade de variar a representação de fenômenos dependentes da escala, eliminando o excesso de detalhes e simplificando a aparência e a densidade de objetos, e (2) acomodar diferentes percepções sobre o mesmo fenômeno do mundo real. O primeiro requisito é atendido pelo processo conhecido como *generalização¹ cartográfica* [7]. Na produção cartográfica convencional, o processo é baseado no conhecimento empírico do cartógrafo, incluindo seu senso estético. O segundo requisito corresponde à necessidade de integração dos conceitos trabalhados por cada aplicação, conforme determinado no processo de modelagem de dados. Esse processo é denominado *generalização conceitual²*. É utilizado para reduzir a resolução espacial e semântica, e se preocupa principalmente com o conteúdo e estrutura do banco de dados (que, na cartografia convencional, corresponde ao conjunto de dados básicos para a compilação de um mapa), independentemente dos recursos de visualização. Na generalização cartográfica, ao contrário, a preocupação principal é com a aparência visual, avaliada por fatores como legibilidade, clareza, facilidade de interpretação e outros [9].

4 Estratégias para a Implementação de Múltiplas Representações

Com os recursos usualmente encontrados em SIG comerciais, a resposta mais comum para a necessidade de múltiplas representações é a construção de representações alternativas em camadas separadas. Este artigo apresenta três estratégias que permitem a implementação de múltiplas

¹ Observe-se que o termo *generalização*, quando aplicado em cartografia, tem um significado similar, porém diferente, do que é usualmente dado em bancos de dados. Em ambos os casos, o termo é usado no sentido de reduzir a complexidade da informação. Em bancos de dados, *generalização* significa abstração de informação, a supressão de detalhes visando dar à informação um significado mais amplo. Em cartografia, o interesse está em suprimir detalhes desnecessários, de modo a produzir uma nova versão, menos detalhada, de um mapa [10]. Este trabalho usa o termo isolado *generalização* apenas no conceito usual em bancos de dados, e usa a expressão *generalização cartográfica* nos demais casos.

² Na literatura de cartografia, é geralmente utilizada a expressão *model generalization* ou *model-oriented generalization* [13]. Para evitar o conflito com a terminologia de modelagem de dados, este artigo utiliza a expressão *generalização conceitual (conceptual generalization)* [12], que é uma das alternativas encontradas na literatura.

representações evitando problemas de redundância e de atualização que ocorrem na solução usual, baseadas na existência de uma representação primária, ou seja, uma representação que possa ser usada para gerar algumas ou todas as demais (representações secundárias), através de operações de transformação adequadas. A representação primária, se existir, deve ser a mais detalhada e abrangente de todas as representações que foram delineadas no esquema conceitual/representação, e é a única que pode ser alterada pelo usuário.

A primeira estratégia proposta é a **unificação**, que corresponde à adoção de uma única representação para armazenamento no banco de dados, a representação primária. Representações secundárias são temporárias, e não são armazenadas.

A segunda estratégia é a **derivação**, que também define uma representação como primária, como acima, mas as representações secundárias, geradas a partir desta através de operações de transformação, são armazenadas para evitar o tempo de reprocessamento. Cada modificação ou atualização em um objeto primário produz uma *demanda de atualização*, que é um objeto que registra a natureza da modificação e indica a necessidade de regeneração dos objetos secundários correspondentes.

A terceira estratégia é a **replicação**, em que mais de uma representação primária é definida. Cada uma das representações primárias é mantida em separado pelo usuário. Modificações em objetos pertencentes a qualquer representação primária geram *demandas de sincronização*, direcionadas aos objetos correspondentes nas outras representações primárias.

Na maior parte das vezes, o trabalho envolvido na manutenção de representações independentes pode ser reduzido pelo uso de *transformações*, o que permite que a atualização seja realizada apenas nas representação(ões) primária(s). Uma operação de transformação envolve a geração de uma *representação menos detalhada* ou uma *apresentação* a partir de uma representação mais detalhada. No primeiro caso, a operação é dita *transformação para representação* (TR); no segundo, é denominada *transformação para apresentação* (TA).

Operações de *transformação para representação* (TR) consistem na aplicação de seqüências de operadores a uma classe de objetos, para gerar uma representação alternativa a partir dos dados existentes. Esses operadores consistem em ferramentas básicas de geometria computacional, generalização cartográfica e análise espacial. As operações TR são caracterizadas em duas situações: (1) a representação resultante e a representação original são de naturezas diferentes, ou (2) as representações original e resultante têm a mesma natureza, porém a representação

resultante é menos detalhada. Dentro deste raciocínio, o artigo apresenta todas as combinações possíveis entre representações de geo-objetos e geo-campos e os operadores que podem ser usados em cada transformação, configurando um guia para a implementação e uso das transformações em SIG.

Uma operação é dita *transformação para apresentação* (TA) quando a natureza da representação e o nível de detalhe são mantidos, mas distorções são introduzidas (por exemplo, deslocamento) ou parâmetros de visualização (tais como cor, tipo de linha ou padrão de preenchimento) são alterados. As operações TA se preocupam principalmente com a escolha de atributos gráficos mais convenientes para geo-campos e geo-objetos. Em especial, envolvem operadores de generalização cartográfica especificamente dedicados a aumentar a legibilidade dos mapas. Várias operações TA podem ser implementadas usando os recursos disponíveis em qualquer SIG comercial, enquanto outras demandam operadores de generalização cartográfica mais complexos, que não estão amplamente disponíveis.

5 Múltiplas representações em aplicações urbanas

Aplicações urbanas de SIG são notórias pela grande quantidade e variedade de informações que envolvem. 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 ao amplo espectro de aplicações geográficas urbanas 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. 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. Ocorre, no entanto, que objetos pertencentes ao banco de dados básico são percebidos de maneiras diferentes por algumas aplicações, gerando a necessidade de se ter mais de uma representação para a mesma classe de objetos geográficos. Além disso, em algumas aplicações, em particular nas de planejamento urbano, é necessário trabalhar com um nível de detalhamento menor, de modo a permitir que o planejador

perceba as tendências do desenvolvimento da cidade em nível mais elevado. Considerando os recursos disponíveis nos SIG atuais, a solução mais imediata para esses problemas é a construção de classes de objetos alternativas, o que constitui redundância e cria problemas para a manutenção dos dados. Conforme será demonstrado no artigo através de exemplos, o uso de múltiplas representações oferece uma alternativa à manutenção de classes independentes.

6 Conclusões

SIG comerciais estão ainda longe de conseguir implementar recursos mais adequados de generalização cartográfica. Isso efetivamente limita as possibilidades de compartilhamento de informações entre grupos de usuários, uma vez que os níveis de detalhe e precisão exigidos por uma aplicação podem não ser adequados para outras. É necessário promover uma clara separação entre a representação de objetos em um banco de dados geográfico e os recursos disponíveis no SIG para sua visualização. Os conceitos tradicionais de cartografia aplicam-se nesta última parte, mas não devem influenciar a primeira, que deve procurar maneiras de tratar e manipular dados geográficos com o maior grau de generalidade possível, para viabilizar seu uso em uma ampla gama de aplicações. Isso só será possível de maneira eficiente caso os SIG passem a suportar múltiplas representações para cada objeto geográfico. Este trabalho prosseguirá investigando como *visões* podem ser usadas para prover transparência no uso de representações secundárias, e como o *controle de versões* pode ser útil como ferramenta para implementar a propagação de atualizações e a sincronização entre representações.

7 Referências

- [1]Borges, K. A. V. *Modelagem de Dados Geográficos: Uma Extensão do Modelo OMT para Aplicações Geográficas*. Dissertação de Mestrado, Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 1997.
- [2]Egenhofer, M. J., Clementini, E., Di Felice, P. Evaluating Inconsistencies among Multiple Representations. In *Proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling*, 2: 901-920, 1994.
- [3]Frank, A. U., Timpf, S. Multiple Representations for Cartographic Objects in a Multi-Scale Tree - An Intelligent Graphical Zoom. In Falcidieno, B. (editor) *Computers & Graphics* 18(6), 1994.
- [4] Kidner, D. B., Jones, C. B. A Deductive Object-Oriented GIS for Handling Multiple Representations. In *Proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling*, 2: 882-900, 1994.
- [5] Kilpeläinen, T., Sarjakoski, T. Incremental Generalization for

Multiple Representations of Geographical Objects. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) *GIS and Generalization: Methodology and Practice*, Taylor & Francis, 1995.

[6]Lagrange, J. P., Ruas, A. Geographic Information Modelling: GIS and Generalization. In *Proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling*, 2: 1099-1117, 1994.

[7]McMaster, R.B., Shea, K. S. *Generalization in Digital Cartography*. Association of American Geographers, 1992.

[8]Medeiros, C. M. B., Câmara, G., Souza, R., Freitas, U., Casanova, M., Hemery, A. A Model to Cultivate Objects and Manipulate Fields. In *Proceedings of the Second ACM Workshop on Advances in GIS*, 30-37, 1994.

[9]Müller, J. C., Weibel, R., Lagrange, J. P., Salgé, F. Generalization: State of the Art and Issues. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) *GIS and Generalization: Methodology and Practice*, Taylor & Francis, 1995.

[10]Nyerges, T. L. Representing Geographical Meaning. In Buttenfield, B., McMaster, R. (editors) *Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation*, Longman, 1991.

[11]Paiva, J. A. C. *Topological consistency in geographic databases with multiple representations*. Ph.D. Thesis, University of Maine, 1998.

[12]van Smaalen, J. W. N. Spatial Abstraction Based on Hierarchical Re-classification. *Cartographica* Monograph 47, 1997.

[13]Weibel, R. Map Generalization in the Context of Digital Systems. *Cartography and Geographic Information Systems*, Guest Editorial to Special Issue on Automated Map Generalization, 22(4): 3-10, 1995.