

Extensões ao Modelo OMT-G para Produção de Esquemas Dinâmicos e de Apresentação

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, Brasil

laender@dcc.ufmg.br

Abstract. A construção de um esquema conceitual é parte fundamental do processo de desenvolvimento de aplicações. No caso das aplicações geográficas, no entanto, é necessário levar em consideração outros fatores, especialmente relativos à representação dos objetos espaciais. Sem a definição da representação, torna-se difícil a especificação dos relacionamentos espaciais e topológicos entre os objetos. Reunindo elementos conceituais e de representação, aplicações geográficas podem ser modeladas estaticamente usando o modelo OMT-G. Este artigo propõe extensões ao modelo OMT-G, no sentido de permitir a especificação de transformações entre representações, por meio de um esquema dinâmico. Também são propostas extensões para a especificação de diferentes apresentações visuais para cada representação modelada, compondo um esquema de apresentações. As extensões propostas permitem que projetos de aplicações geográficas incorporem aspectos de múltiplas representações e múltiplas apresentações, viabilizando assim o compartilhamento do banco de dados geográfico entre diferentes grupos de usuários.

1. Introdução

A construção de um esquema conceitual é parte fundamental do processo de desenvolvimento de sistemas de informação. Durante a modelagem, é necessário identificar todos os objetos do mundo real que de alguma forma interfiram no sistema, por atuar na parcela do mundo real que se está procurando modelar. Em seguida, é preciso extrair um conjunto de características de cada objeto identificado, em um processo de *abstração*. A incorporação da geometria e da topologia dos objetos espaciais ao esquema conceitual consiste em escolher uma *representação* adequada para cada um deles, que seja capaz de incorporar suas características espaciais, como localização, topologia e forma geométrica. A existência de uma representação para 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 podem corresponder uma ou mais *apresentações*, alternativas de visualização adequadas para comunicar o significado dos dados geográficos de acordo com as necessidades do usuário e da aplicação.

Ao considerar a necessidade de modelagem de representações e apresentações, percebe-se que os modelos de dados geográficos atualmente disponíveis não incorporam recursos para que transformações envolvendo representações e apresentações sejam concebidas. Este trabalho propõe um conjunto de extensões ao modelo OMT-G [2, 3, 4], de modo a incorporar primitivas para a construção de esquemas *dinâmicos* e de esquemas *de apresentação*, e

está organizado como se segue. A Seção 2 apresenta os níveis de abstração adotados para modelagem de dados geográficos. A Seção 3 apresenta brevemente o modelo OMT-G. A Seção 4 apresenta as extensões propostas. Finalmente, a Seção 5 apresenta as conclusões do trabalho e discute aspectos relativos à sua utilização prática.

2. Níveis de Abstração

Modelos de dados variam de acordo com o nível de abstração. Para aplicações geográficas, existem basicamente quatro níveis distintos de abstração (Figura 1). No *nível do mundo real* estão os fenômenos geográficos reais a serem representados. O *nível de representação conceitual* oferece um conjunto de conceitos formais com os quais as entidades geográficas podem ser modeladas da forma em que são percebidas pelo usuário, em um nível alto de abstração. Neste nível são definidas as classes básicas, contínuas ou discretas, que serão criadas no banco de dados, cada qual associada a uma classe de representação espacial, sendo que é possível que um elemento do mundo real possua várias representações. Em seguida, o *nível de apresentação* oferece ferramentas com as quais se pode especificar os diferentes aspectos visuais que as entidades geográficas têm de assumir ao longo de seu uso em aplicações. Neste nível, cada alternativa de representação definida no nível anterior é associada a uma ou mais apresentações. Finalmente, no *nível de implementação* são definidos padrões, mecanismos de armazenamento, estruturas de dados e funções de uso geral para implementar

fisicamente cada representação, conforme definida no nível de representação conceitual, e cada apresentação exigida, conforme definido no nível de apresentação.



Figura 1 - Níveis de especificação de aplicações geográficas

A definição de níveis de abstração apresentada difere da proposta em [6]. Existe uma certa discordância quanto à fusão, em um único nível, das definições conceituais e de representação. É nosso entendimento que a modelagem conceitual para aplicações geográficas não pode ser levada a termo sem que alguma forma de representação seja definida para os objetos espaciais, sob pena de não se conseguir conceber adequadamente os relacionamentos entre esses objetos. Grande parte da discussão ao redor deste aspecto decorre de uma confusão entre representação e apresentação, e portanto a inclusão de um nível separado para receber as especificações relativas a aspecto visual e gráfico contribui para resolver o problema. O nível de apresentação situa-se entre o nível de representação conceitual e o de implementação, uma vez que introduz detalhes de especificação parcialmente dependentes dos recursos disponíveis para a implementação, mas ao mesmo tempo define os parâmetros recomendáveis para o melhor uso da informação concebida para a aplicação.

3. Modelagem Usando o Modelo OMT-G

O modelo OMT-G propõe uma série de primitivas que permitem construir o esquema estático de aplicações geográficas, no qual são especificadas as classes envolvidas no problema, juntamente com suas representações básicas e seus relacionamentos. A partir do esquema estático, é possível produzir um conjunto de restrições de integridade espacial que precisam ser implementadas pela aplicação ou pelo banco de dados geográfico utilizado.

O modelo OMT-G parte das primitivas definidas para o diagrama de classes da *Universal Modeling Language* (UML) [12], introduzindo primitivas geográficas com o objetivo de aumentar a capacidade de representação semântica daquele modelo, e portanto reduzindo a distância entre o modelo mental do espaço a ser modelado e o modelo de representação usual. O modelo OMT-G é baseado em três conceitos principais: *classes*, *relacionamentos* e *restrições de integridade espaciais*. Classes e relacionamentos definem as primitivas básicas usadas para criar esquemas estáticos de aplicação. A identificação de restrições de integridade espacial é uma atividade importante no projeto de uma aplicação, e consiste na identificação de condições que se precisam ser garantidas para que o banco de dados esteja sempre íntegro. As restrições de integridade espaciais para o modelo OMT-G foram detalhadas em [3] e [4], e não serão apresentadas aqui. As primitivas de classes e relacionamentos serão apresentadas a seguir.

3.1 Classes

As classes definidas pelo modelo OMT-G podem ser *georreferenciadas* ou *convencionais*. Uma *classe georreferenciada* descreve um conjunto de objetos que têm representação espacial e que são associados a elementos do mundo real localizáveis na Terra [5], assumindo a visão de campos e objetos proposta por Goodchild [9]. Uma *classe convencional* descreve um conjunto de objetos com propriedades, comportamento, relacionamentos e semântica semelhantes, o qual pode ter algum tipo de relacionamento com objetos espaciais, mas não possui propriedades geográficas ou geométricas.

As classes georreferenciadas são especializadas em *geo-campos* e *geo-objetos*. Geo-campos representam objetos e fenômenos distribuídos continuamente no espaço, correspondendo a variáveis como tipo de solo, relevo e geologia [5]. Geo-objetos representam objetos geográficos particulares, individualizáveis, associados a elementos do mundo real, como edificações, rios e árvores. As classes convencionais são simbolizadas exatamente como na UML. As classes georreferenciadas são simbolizadas no modelo OMT-G de forma semelhante (Figura 2a), incluindo no canto superior esquerdo um retângulo que é usado para indicar a geometria da representação. Em ambos os casos, símbolos simplificados podem ser usados (Figura 2b). Os objetos podem ter ou não atributos não espaciais associados, listados na seção central da representação completa. Métodos ou operações associadas são especificadas na seção inferior.

O modelo OMT-G apresenta um conjunto fixo de alternativas de representação geométrica, usando uma simbologia que distingue geo-objetos (Figura 3) e geo-campos (Figura 4). São definidas cinco classes descendentes de

geo-campo (*isolinhas, polígonos adjacentes, tesselação, amostragem e rede triangular irregular*) e duas classes descendentes de geo-objeto, *geo-objeto com geometria e geo-objeto com geometria e topologia*, sendo que da primeira descendem as classes *ponto, linha e polígono*, e da segunda descendem as classes *nó de rede, arco unidirecional e arco bidirecional*.

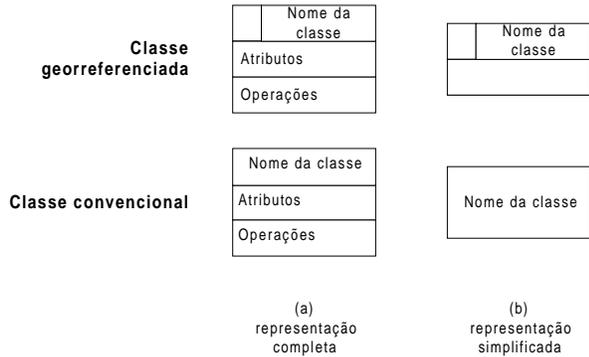


Figura 2 - Notação gráfica para as classes do modelo OMT-G

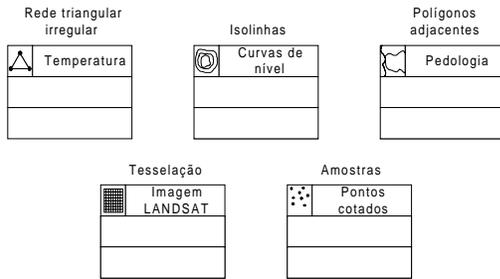


Figura 3 - Geo-campos

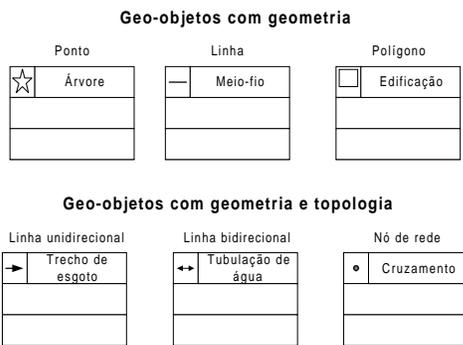
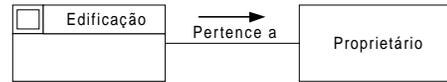


Figura 4 - Geo-objetos

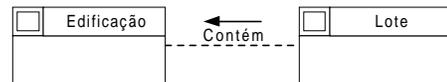
3.2 Relacionamentos

Considerando a importância dos relacionamentos espaciais e não espaciais para a compreensão do espaço modelado, o modelo OMT-G representa os três tipos de rela-

cionamento que podem ocorrer entre suas classes: *associações simples, relacionamentos topológicos em rede e relacionamentos espaciais*. *Associações simples* representam relacionamentos estruturais entre objetos de classes diferentes, convencionais ou georreferenciadas. *Relacionamentos espaciais* representam relações topológicas, métricas, ordinais e *fuzzy*. *Relacionamentos de rede* são relacionamentos entre objetos que estão conectados uns com os outros.



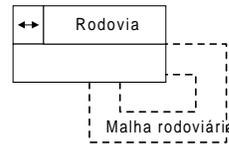
(a) Associação simples



(b) Relacionamento espacial



(c) Relacionamento de rede arco-nó



(d) Relacionamento de rede arco-arco

Figura 5 - Relacionamentos

No modelo OMT-G, associações simples são representadas graficamente com linhas contínuas, enquanto relacionamentos espaciais são representados com linhas pontilhadas (Figura 5a e b), o que facilita a distinção visual entre relacionamentos baseados em atributos alfanuméricos e baseados na localização e geometria dos objetos. O nome do relacionamento é anotado sobre a linha, e uma seta pode ser desenhada para deixar clara a direção de leitura (por exemplo, na Figura 5b, lê-se “lote contém edificação”). Relacionamentos de rede são indicados por duas linhas pontilhadas paralelas, entre as quais o nome do relacionamento é anotado (Figura 5c). Os relacionamentos são em geral especificados entre uma classe de nós e uma classe de arcos, mas estruturas de redes sem nós podem ser definidas, especificando um relacionamento recursivo sobre uma classe de arcos (Figura 5d). Os relacionamentos são ainda caracterizados por sua *cardinalidade*. A notação de cardinalidade adotada pelo modelo OMT-G é a mesma empregada pela UML, usando números para indicar quan-

tidades, reticências para denotar faixas e o asterisco para simbolizar “muitos”, como em 1 . . *.

3.3 Generalização e especialização

Generalização é o processo de definição de classes que são mais genéricas (superclasses) do que classes com características semelhantes (subclasses) [8, 11]. A *especialização* é o processo inverso, no qual classes mais específicas são detalhadas a partir de uma classe mais genérica, adicionando novas propriedades na forma de atributos. Cada subclasse herda atributos, operações e associações de sua superclasse.

No modelo OMT-G, as abstrações de generalização e especialização se aplicam tanto a classes georreferenciadas quanto a classes convencionais, seguindo as definições e a notação propostas na UML, em que um triângulo conecta a superclasse a suas subclasses. Cada generalização pode ter um *discriminador* associado, que indica qual propriedade ou característica está sendo abstraída pelo relacionamento de generalização.

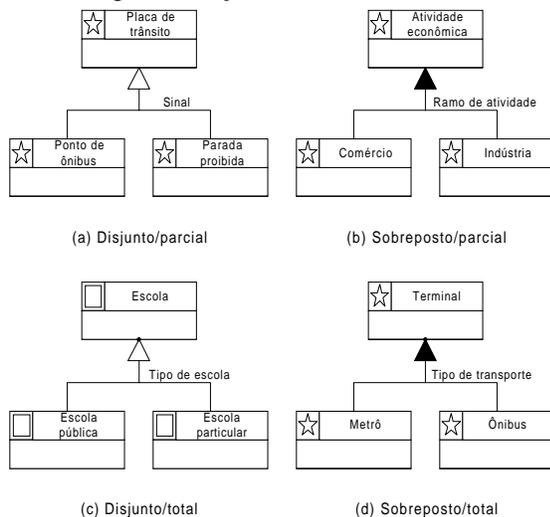


Figura 6 - Exemplos de generalização espacial

As generalizações (espaciais ou não) podem ser especificadas como *totais* ou *parciais* [11, 12]. Uma generalização é total quando a união de todas as instâncias das subclasses é equivalente ao conjunto completo de instâncias da superclasse. A UML representa a totalidade através do uso dos elementos de restrição predefinidos *completo* e *incompleto*, mas no modelo OMT-G foi adotada a notação introduzida em [11], na qual um ponto é colocado no ápice do triângulo para denotar a totalidade (Figura 6). Além disso, o modelo OMT-G também adota a notação OMT [13] para os elementos de restrição predefinidos *disjunto* e *sobreposto* da UML, ou seja, em uma generalização disjunta o triângulo é deixado em branco e em uma generalização sobreposta o triângulo é preenchido. Por-

tanto, a combinação de disjunção e totalidade gera quatro tipos de restrição aplicáveis a generalização e especialização. A Figura 6 apresenta exemplos de cada combinação.

3.4 Agregação

Agregação é uma forma especial de associação entre objetos, onde se considera que um deles é montado a partir de outros. A notação gráfica usada no modelo OMT-G segue a empregada na UML. Uma agregação pode ocorrer entre classes convencionais, entre classes georreferenciadas ou entre uma classe convencional e uma classe georreferenciada. Quando a agregação ocorre entre classes georreferenciadas, é necessário usar a *agregação espacial*.

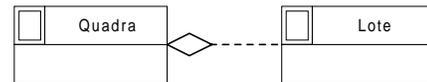


Figura 7 - Agregação espacial

A agregação espacial é um caso especial de agregação na qual relacionamentos topológicos “todo-parte” são explicitados [1, 10]. A agregação espacial indica que a geometria de cada parte deve estar totalmente contida na geometria do todo. Além disso, não é permitida a superposição entre a geometria das partes e a geometria do todo deve ser totalmente coberta pela geometria das partes. Um exemplo dessa primitiva está apresentado na Figura 7, que mostra uma situação em que quadras são compostas de lotes, ou seja, as quadras são geometricamente equivalentes à união dos lotes contidos nelas.

3.5 Generalização Cartográfica

A *generalização*, no sentido cartográfico, pode ser definida como uma série de transformações que são realizadas sobre a representação da informação espacial, cujo objetivo é melhorar a legibilidade e a compreensão dos dados. Um objeto do mundo real pode ter diversas representações, de acordo com a escala de visualização: uma cidade pode ser representada como um ponto em um mapa de escala pequena, e como um polígono em um mapa de escala maior.

Definir se a representação deve ser mais simples ou mais elaborada depende da percepção que o usuário tem do objeto correspondente no mundo real, e de como essa representação afeta os relacionamentos espaciais que podem ser estabelecidos com outros objetos modelados. Considerando a necessidade de tais relacionamentos, pode haver a demanda para mais de uma representação para um dado objeto [7]. Esse é freqüentemente o caso quando a informação geográfica precisa ser compartilhada entre diversas aplicações.

A primitiva de *generalização cartográfica* foi inclu-

ída no modelo OMT-G para registrar a necessidade de representações diferentes para um mesmo objeto. Nessa primitiva, a superclasse não precisa ter uma representação específica, já que poderá ser percebida de maneiras diferentes, conforme especificado nas subclasses. Estas são representadas por formas geométricas distintas, podendo herdar os atributos alfanuméricos da superclasse e ainda possuir atributos próprios. O objetivo dessa primitiva é permitir a especificação de relacionamentos independentes envolvendo cada alternativa de representação considerada, em particular relacionamentos espaciais, que dependem da geometria da representação. É permitido que a mesma alternativa de representação ocorra em mais de uma classe, pois em cada uma o nível de detalhamento ou resolução pode variar.

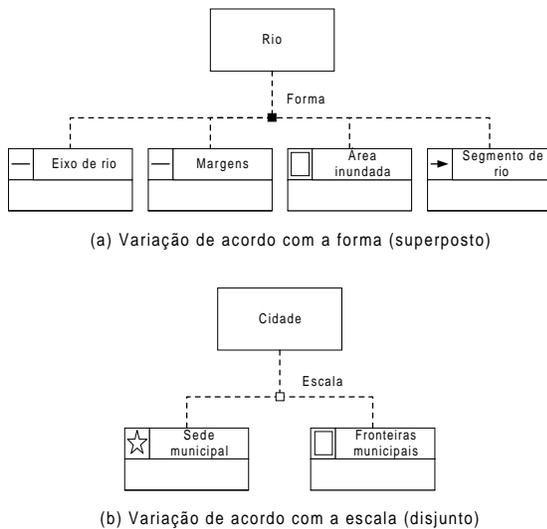


Figura 8 - Generalização cartográfica

A generalização cartográfica pode ocorrer em duas variações: de acordo com a *forma geométrica* ou de acordo com a *escala*. A variação de acordo com a forma é usada para registrar a existência de múltiplas representações independentes de escala para uma classe. A variação de acordo com a escala é usada para especificar diferentes aspectos geométricos de uma classe dada, cada qual correspondendo a uma faixa de escalas. A Figura 8 apresenta um exemplo de cada variação.

A notação usada para generalização cartográfica utiliza um quadrado para conectar a superclasse a suas subclasses. As linhas utilizadas são pontilhadas. As palavras *Escala* e *Forma* são usadas como discriminadores. O quadrado é deixado em branco quando as subclasses são disjuntas, e preenchido se as subclasses podem se superpor (Figura 8).

4. Extensões ao Modelo OMT-G

Quando o esquema estático indica a necessidade de múltiplas representações de alguma classe, ou quando a aplicação envolve a derivação de alguma classe a partir de outras, propõe-se a criação de um *esquema dinâmico*. Nesse esquema, todos os processos de transformação de dados podem ser especificados, permitindo a identificação de quaisquer métodos que sejam necessários para a implementação. Além do esquema dinâmico, propõe-se a criação de um *esquema de apresentação*, onde são especificadas as diretrizes para a visualização de qualquer representação prevista no esquema estático, usando os recursos do SIG subjacente. Cada classe pode ter várias apresentações, cada qual adequada para uma determinada finalidade de uso – de maneira análoga à definição da cartografia para os mapas em papel.

4.1 Esquema dinâmico

Os esquemas dinâmicos são baseados nas primitivas de classe, conforme definidas para os esquemas estáticos do modelo OMT-G. As classes que estão envolvidas em algum tipo de transformação são conectadas por meio de linhas contínuas, com setas que indicam a direção da transformação. Os operadores de transformação envolvidos e seus parâmetros, quando houver, são indicados por meio de texto sobre a linha que denota a transformação.

No esquema dinâmico, pode-se indicar se o resultado da transformação precisa ou não ser materializado. Classes resultantes muito simples, ou que são passos intermediários em uma transformação mais complexa, frequentemente não precisam ser materializadas, e podem ser armazenadas apenas temporariamente. Tais classes temporárias são indicadas usando linhas tracejadas em seu contorno. As classes que são resultantes de alguma transformação e que precisam ser materializadas (devido à complexidade do processo ou às necessidades específicas da aplicação) são denotadas com linhas contínuas, exatamente como no esquema estático.

Observe-se que a especificação de transformações no esquema dinâmico é em geral exigida quando as primitivas de generalização cartográfica e de agregação espacial são usadas no esquema estático. Essas duas primitivas são indicativas da possibilidade de produzir uma representação a partir de outras. Quando o esquema estático contém uma primitiva de agregação espacial, existe frequentemente a necessidade de se especificar a operação que vai ser usada para construir o todo a partir das partes.

A Figura 9 apresenta um fragmento de esquema estático onde é usada a primitiva de generalização cartográfica. Ao interpretar esse esquema estático, não fica claro se e como as três representações alternativas para a classe

Cidade irão coexistir na aplicação. Embora algum relacionamento entre elas exista, conforme indicado pela primitiva de generalização cartográfica, o esquema estático não explora a semântica que conduz à possibilidade de gerar algumas representações a partir de outras. O esquema dinâmico (Figura 10) resolve esse problema, registrando o entendimento de que a classe *Fronteiras municipais* contém informação suficiente para produzir a geometria das outras duas classes.

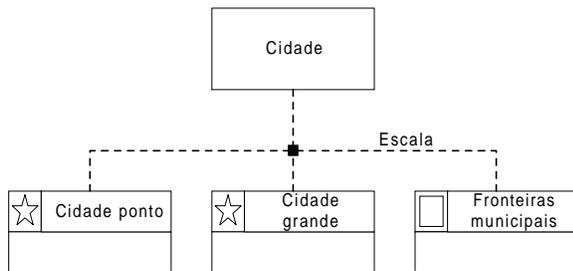


Figura 9 - Representações alternativas para a classe Cidade (esquema estático)

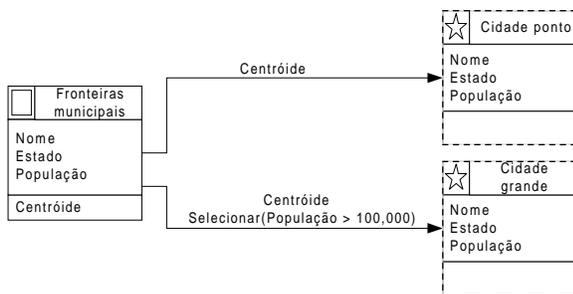


Figura 10 - Transformações entre representações da classe Cidade (esquema dinâmico)

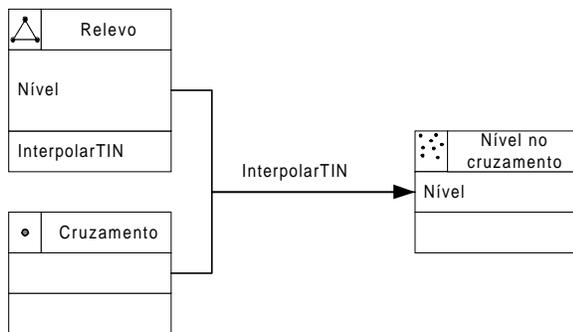


Figura 11 - Exemplo de operação (esquema dinâmico)

As transformações indicadas no esquema dinâmico podem relacionar qualquer número de classes originais, bem como qualquer número de classes resultantes, dependendo da natureza da operação de transformação. Cadeias de transformações também podem ser definidas, permitindo dessa forma a especificação de processos complexos de análise espacial. A Figura 11 apresenta um exemplo

desse tipo de operação. Na figura, um geo-campo da classe TIN, representando o relevo, é usado juntamente com uma classe de cruzamentos de vias (nós de rede) para produzir outro geo-campo, Nível no cruzamento, que é representado por um conjunto de amostras. Na classe resultante, a geometria (localização das amostras) é retirada da classe Cruzamento, e o valor do campo em cada posição é calculado através do método *InterpolarTIN*, desta maneira preenchendo o atributo Nível do geo-campo resultante.

A Figura 12 apresenta um exemplo de esquema dinâmico resultante de uma agregação espacial, correspondendo ao fragmento de esquema estático apresentado na Figura 7. Instâncias da classe *Lote* são unidas, usando um operador de generalização cartográfica denominado *Fusão* [7], para criar instâncias da classe *Quadra*. Observe que a transformação também indica que um atributo de *Quadra*, *IPTU_total*, deve ser preenchido com o somatório dos atributos *Valor_IPTU* dos lotes correspondentes. Algumas vezes, no entanto, não é possível especificar uma transformação automática como essa, especialmente nos casos em que o todo é obtido primeiro e as partes são então extraídas dele.



Figura 12 - Agregação no esquema dinâmico

Um estudo sobre a possível variação de operadores TR, considerando todas as combinações de tipos de representação para as classes original e resultante, foi apresentado em [7] como parte de um arcabouço conceitual sobre múltiplas representações. Os operadores empregados para tais transformações são baseados em algoritmos bem conhecidos nas áreas de geometria computacional, generalização cartográfica e análise espacial.

4.2 Esquema de apresentação

O esquema de apresentação, proposto a seguir, procura reunir os requisitos definidos pelo usuário quanto às alternativas de apresentação e saída para cada objeto geográfico. Essas alternativas podem incluir apresentações criadas especificamente para visualização em tela, para impressão na forma de mapas ou cartas, para interpretação visual em um processo de análise, e outras.

Cada apresentação é definida a partir de uma representação contida no esquemas estático ou no esquema dinâmico do nível de representação conceitual. Operações de transformação para apresentação (TA) são especificadas, permitindo obter o aspecto visual desejado a partir da

simples forma geométrica definida para a representação. Observe-se que operações TA não modificam a alternativa de representação definida previamente, nem mudam o detalhamento definido no nível de representação conceitual. Se isso for necessário, uma nova representação tem de ser criada a partir de uma representação existente, usando as ferramentas de especificação de múltiplas representações (como a primitiva de generalização cartográfica) e registrando essa alternativa nos esquemas estático e dinâmico.

As operações TA mais comuns envolvem a simples definição de atributos gráficos. Como o esquema de apresentação está mais próximo da implementação que os esquemas estático e dinâmico, os recursos gráficos específicos do SIG subjacente podem ser levados em conta. Outros operadores mais sofisticados (classificação, simbolização, exagero, deslocamento, destaque) também podem ser empregados. Um estudo sobre a variedade de operadores para TA foi apresentado em [7].

O esquema de apresentação necessita de apenas três primitivas. A primeira é a própria primitiva de classes, definida para os esquemas estático e dinâmico. A segunda é usada para indicar a operação TA, de maneira semelhante à usada para denotar as transformações no esquema dinâmico. É composta de uma linha tracejada simples, com uma seta que indica o sentido da operação, sobre a qual é especificado o operador a ser usado. No processo de especificação dessa expressão de transformação, quaisquer características geométricas ou atributos alfanuméricos que foram definidos no nível de representação conceitual para a classe podem ser usadas como parâmetros. As linhas indicando operações TA são tracejadas para distingui-las visualmente das operações de transformação de representações, que são especificadas no esquema dinâmico com linhas contínuas. A terceira primitiva serve para especificar uma apresentação, e contém duas seções. A seção superior indica o nome da classe, o nome da apresentação, e a aplicação na qual é usada. A segunda é dividida em duas partes: à esquerda, um pictograma indica o aspecto visual dos objetos após a transformação, à semelhança de uma legenda cartográfica, e à direita são lançadas especificações mais precisas quanto aos atributos gráficos, incluindo cor da linha, tipo de linha, espessura da linha, padrão de preenchimento, cor de preenchimento, e nome do símbolo. A especificação dos atributos gráficos pode ser feita já considerando a codificação de símbolos usada pelo SIG subjacente. Pode existir qualquer número de pictogramas na seção esquerda da primitiva de especificação de apresentações, cada qual associado a um valor ou faixa de valores obtidos a partir das características de cada objeto. Nesse caso, a seção da direita deve detalhar os atributos gráficos de cada apresentação gerada. Atributos comuns podem ser especificados apenas uma vez,

enquanto atributos variáveis são especificados como listas de valores individuais. Como no caso do esquema dinâmico, as apresentações são indicadas com linhas tracejadas quando não precisam ser materializadas no banco de dados, e com linhas contínuas no caso contrário.

Cada classe georreferenciada especificada no esquema estático precisa ter pelo menos uma apresentação correspondente especificada no esquema de apresentação. Caso exista mais de uma apresentação para uma dada representação, uma delas deve ser identificada como a *default*. Alternativamente, cada usuário ou aplicação pode eleger sua apresentação *default*.

Observe-se que a definição de apresentações a partir de uma representação é um conceito que pode ser também aplicado no caso de objetos convencionais, ou seja, objetos que não possuem características geométricas ou geográficas. Isso significa que aspectos visuais alternativos para tabelas e campos podem também ser especificados no nível de apresentação, simplificando o trabalho final de implementação.

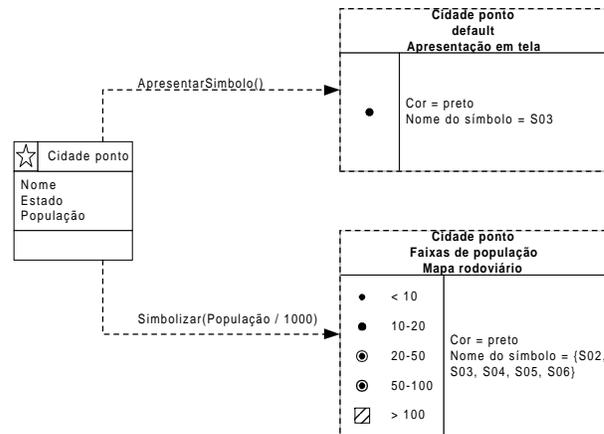


Figura 13 - Esquema de apresentação para a classe Cidade ponto

Como exemplo, considere-se a definição de apresentações para a classe *Cidade ponto*, apresentada anteriormente. Primeiro, uma apresentação *default* para visualização em tela é definida. Em seguida, uma apresentação diferente é especificada, na qual diferentes símbolos são atribuídos às instâncias dependendo do valor do atributo *População*, para um mapa rodoviário (Figura 13).

A Figura 14 introduz outro exemplo de esquema de apresentação. A classe básica, neste caso, representa setores censitários como polígonos. Três diferentes apresentações são derivadas desta representação: a primeira é a apresentação *default* para a tela, usando um padrão hachurado; a segunda mostra os resultados de uma classificação sobre o atributo de renda média do chefe do domicílio; a terceira apresenta apenas os setores onde a densi-

dade demográfica é considerada excessivamente alta, como parte de uma análise de risco para a saúde.

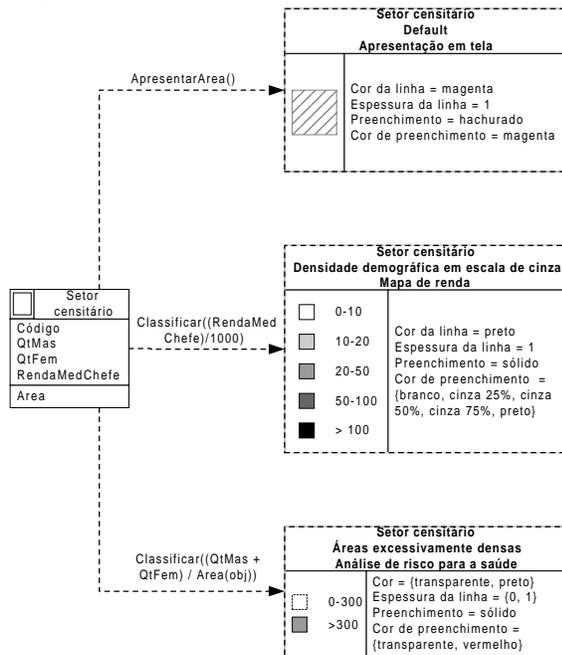


Figura 14 - Esquema de apresentação para a classe Setor censitário

5. Conclusão

Os recursos complementares ao modelo OMT-G apresentados neste trabalho são fundamentalmente importantes para a correta concepção e documentação de aplicações geográficas. A aproximação entre o modelo mental do usuário e o modelo de implementação passa a se dar com maior amplitude, uma vez que os aspectos dinâmicos e a aparência visual dos objetos são melhor detalhados.

Ao final do processo de modelagem, uma avaliação da funcionalidade exigida para as transformações pode ajudar a orientar o processo de escolha do SIG mais adequada para a implementação. Adicionalmente, o conjunto de esquemas proposto aqui pode facilitar uma eventual migração da aplicação para uma plataforma diferente da que foi utilizada para a implementação original. Nesse sentido, os esquemas dinâmico e de apresentação constituem também ferramentas de engenharia reversa para aplicações já desenvolvidas.

Este trabalho está prosseguindo, através do desenvolvimento de um conjunto de funções e extensões a um SIG comercial, visando demonstrar a validade dos conceitos aqui desenvolvidos no caso de uma aplicação real. Uma ferramenta de modelagem de dados geográficos baseada no modelo OMT-G, incluindo todas as primitivas apresentadas para os esquemas estático, dinâmico e de apre-

sentação e apoiada no software de diagramação Visio, está atualmente em fase de testes.

6. Referências

- [1] Abrantes, G., Carapuça, R. Explicit representation of data that depend on topological relationships and control over data consistency. In *Proc. Fifth European Conference and Exhibition on GIS*, 1:869-877, 1994.
- [2] 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.
- [3] Borges, K. A. V., Laender A. H. F., Davis Jr., C. A. Spatial data integrity constraints in object oriented geographic data modeling. In *Proceedings of the 7th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS'99)*, 1-6, 1999.
- [4] Borges, K. A. V., Laender, A. H. F., Davis Jr., C. A. OMT-G: a OMT-G: An Object Modeling Technique for Geographic Applications. Submetido à publicação em *GeoInformatica*, 2000.
- [5] Câmara, G. *Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos*. PhD thesis, INPE, 1995.
- [6] Câmara, G., Casanova, M. A., Hemerly, A., Magalhães, G. C. e Medeiros, C. M. B. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. UNICAMP, 1996.
- [7] Davis Jr., C. A., Laender, A. H. F. Multiple representations in GIS: materialization through geometric, map generalization, and spatial analysis operations. In *Proc. 7th ACM Intl. Symp. Advances in GIS*, 60-65, 1999.
- [8] Elmasri, R., Navathe, S. *Fundamentals of database systems*. 2nd Edition. Addison-Wesley, 1994. 873p.
- [9] Goodchild, M. F. Geographical data modeling. *Computers & Geosciences*, 18(4):401-408, 1992.
- [10] Kösters, G., Pagel, B., Six, H. Object-oriented requirements engineering for GIS-applications. In *Proc. Intl. Workshop Advances in GIS*, 61-69, 1995.
- [11] Laender, A. H. F., Flynn, D. J. A semantic comparison of modelling capabilities of the ER and NIAM models. In Elmasri, R., Kouramajian, V., Thalheim, B. (editors) *Entity-Relationship approach – ER'93*, 242-256, Springer-Verlag, 1994.
- [12] Rational Software Corporation. *The Unified Modeling Language: notation guide*, version 1.1 July 1997. (<http://www.rational.com>).
- [13] Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., Lorenzen, W. *Object-Oriented Modeling and Design*. Prentice-Hall, 1991.