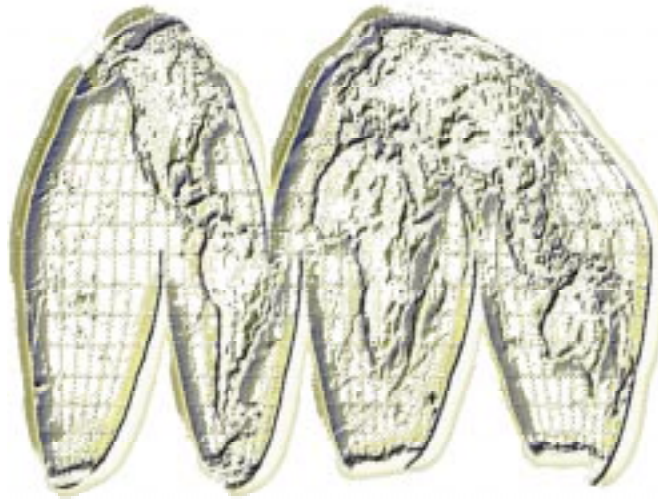


Modelagem de Dados Geográficos



CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

Karla Albuquerque de Vasconcelos Borges

UFMG

2002

Índice

MODELAGEM DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	4
1.1 CONCEITOS BÁSICOS.....	4
1.1.1 <i>Generalização conceitual</i>	4
1.1.2 <i>Dados Geográficos</i>	5
1.1.3 <i>Representação Vetorial / Matricial</i>	5
1.2 REPRESENTAÇÃO DA REALIDADE GEOGRÁFICA.....	7
1.2.1 <i>O Espaço Cognitivo – Fatores Humanos na Interpretação do Espaço</i>	7
1.2.2 <i>Visão de Campos e Objetos</i>	7
1.3 RELAÇÕES ESPACIAIS	9
1.4 CONCEITOS FUNDAMENTAIS EM MODELAGEM DE DADOS.....	11
1.5 MODELOS DE DADOS SEMÂNTICOS.....	14
1.5.1 <i>Modelo Entidade-Relacionamento (ER)</i>	15
1.5.2 <i>Modelagem Orientada a Objetos</i>	17
1.6 MODELOS DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	19
1.6.1 <i>Níveis de Abstração de Dados Geográficos</i>	19
MODELO DE DADOS OMT-G	22
2.1 CARACTERÍSTICAS DO MODELO OMT-G.....	22
2.2 CLASSES BÁSICAS.....	22
2.2.1 <i>Geo-Campo</i>	25
2.2.2 <i>Geo-Objeto</i>	26
2.2.3 <i>Relacionamentos</i>	29
2.2.4 <i>Generalização e Especialização</i>	35
2.2.5 <i>Agregação</i>	37
2.2.6 <i>Generalização Conceitual</i>	38
2.2.7 <i>Restrições Espaciais</i>	43

	3
2.2.8 <i>Diagrama de Temas</i>	47
2.3 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES UTILIZANDO O MODELO OMT-G.....	49
2.3.1 <i>Transporte Público e Trânsito</i>	49
2.3.2 <i>Rede de Esgoto</i>	52
2.3.3 <i>Exercícios</i>	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

Modelagem de Dados Geográficos

1.1 Conceitos Básicos

1.1.1 Generalização Cartográfica

Processos geográficos são dependentes de escala. A mudança da percepção do espaço geográfico está relacionado com a mudança de escala. Quando as escalas variam, os mesmos objetos podem ser representados de maneira diferente. A generalização cartográfica é um processo que permite alterar o nível de percepção do dado geográfico. A precisão e a geometria são alteradas com o objetivo de melhorar a legibilidade e a compreensão desses dados [RuLa95]. Na generalização cartográfica, a geometria do objeto pode ser simplificada ou alterada, um novo objeto pode passar a ser síntese de um conjunto de objetos, alguns objetos podem ser preservados enquanto outros são eliminados. A Figura 1 exemplifica uma generalização de área.

Muitas pesquisas estão sendo feitas [MWLS95, Butt95, BuJF95, RuLa95] no sentido não só de automatizar a generalização cartográfica, como também de capacitar os SIGs no gerenciamento de múltiplas representações de uma mesma entidade geográfica, em todas as escalas nas quais a generalização possa ocorrer.

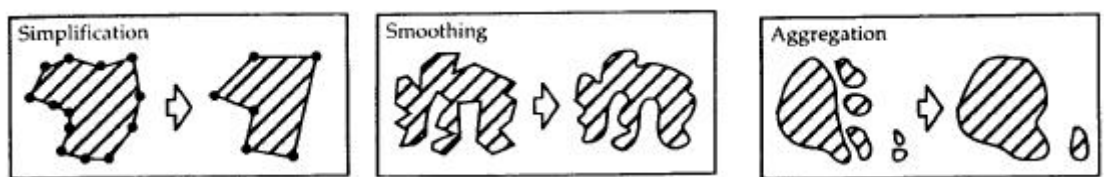


Figura 1 – Generalização de Área (Fonte: [Monm91])

1.1.2 Dados Geográficos

O *espaço geográfico* é o meio físico onde as entidades geográficas coexistem. Uma *entidade geográfica* é qualquer entidade identificável do mundo real, possuindo características espaciais e relacionamentos espaciais com outras entidades geográficas [Gatr91].

Dado espacial é qualquer tipo de dado que descreve fenômenos aos quais esteja associada alguma dimensão espacial. Dados geográficos ou georreferenciados são dados espaciais em que a dimensão espacial está associada à sua localização na superfície da terra, num determinado instante ou período de tempo [CCHM96].

Os dados geográficos possuem três características fundamentais: características *espaciais*, *não-espaciais* e *temporais* [Dang90, MePi94, LaTh92]. As características espaciais informam a posição geográfica do fenômeno e sua geometria. As características não-espaciais descrevem o fenômeno e as características temporais informam o tempo de validade dos dados geográficos e suas variações sobre o tempo. A *representação espacial* de uma entidade geográfica é a descrição da sua forma geométrica associada à posição geográfica.

Os dados geográficos possuem propriedades *geométricas* e *topológicas*. As propriedades geométricas são propriedades métricas. A partir de feições geométricas primitivas, tais como pontos, linhas e polígonos, os quais representam a geometria das entidades, são estabelecidos os relacionamentos métricos. Esses relacionamentos expressam a métrica das feições com referência a um sistema de coordenadas. De acordo com a geometria são estabelecidas algumas propriedades geométricas tais como, comprimento, sinuosidade e orientação para linha; perímetro e área da superfície para polígonos, volume para entidades tri-dimensionais, e forma e inclinação tanto para linhas quanto para polígonos [LaTh92].

Já as propriedades topológicas (não-métricas) são baseadas nas posições relativas dos objetos no espaço como *conectividade*, *orientação* (de, para), *adjacência* e *contenção*.

Observa-se que alguns conceitos espaciais podem ser medidos tanto no domínio geométrico quanto no topológico. A *proximidade*, por exemplo, pode ser obtida tanto através de *adjacência* quanto da *distância* Euclideana¹ [LaTh92].

1.1.3 Representação Vetorial / Matricial

As duas formas básicas de representação dos dados em um SIG são as formas *vetorial* e *matricial*. A representação em formato *matricial* (também chamada *raster* ou *tesselação*) é caracterizada por uma matriz de células de tamanhos regulares, onde para cada célula é associado um conjunto de valores representando as características geográficas da região [Bote95]. As células podem ser de diferentes formatos:

¹ Método para cálculo de distância entre dois pontos utilizando o par de coordenadas cartesianas de cada ponto [LaTh92].

triangulares, hexagonais e retangulares (também chamadas de *pixels*). O termo *raster* designa células regulares. No entanto, é usado de forma genérica para representação matricial [CCHM96]. Os relacionamentos topológicos no espaço são implicitamente determinados a partir da vizinhança das células e as coordenadas geográficas (longitude, latitude) ou planas (x,y) são obtidas indiretamente a partir da posição da célula na matriz (coluna, linha). Imagens de satélite e modelos digitais de terreno são naturalmente representados no formato matricial.

A representação em formato vetorial utiliza pontos, linhas e polígonos para representar a geometria das entidades geográficas. Pontos são representados por um par de coordenadas, linhas por uma sequência de pontos e polígonos por uma sequência de linhas onde a coordenada do ponto inicial e final coincidem. Entidades geográficas lineares, como ruas, divisões político-administrativas e redes de tráfego, são naturalmente representadas em formato vetorial. As redes são casos especiais de dados vetoriais, onde são utilizados arcos e nós conectados na representação do fluxo e da direção da rede. As operações topológicas e métricas são comuns em representações vetoriais.

As visões de *campos* e *objetos* são mapeadas nos SIGs dentro de estruturas *matricial* ou *vetorial*. Para alguns autores, *campos* são representados no formato matricial e *objetos* são representados no formato vetorial [MePi94, PeBS97, Fran92, Cama95]. Já em [CCHM96], encontramos que campos são frequentemente representados no formato matricial e objetos geográficos são tipicamente representados no formato vetorial. Para [Lio96] cada um desses modelos pode ser mapeado em uma ou outra estrutura, sendo que alguns se adequam melhor à estrutura matricial e outros à estrutura vetorial. O exemplo das curvas de nível ilustra bem a colocação feita em [Lio96]. Elas são representadas na visão de *campos* e, no entanto, para implementação se adequam melhor à estrutura *vetorial* e não à *matricial*. Já imagens, que também são representadas na visão de *campos*, são naturalmente mapeadas na estrutura *matricial*. As definições de *campos* e *objetos* utilizadas nesta dissertação não estão necessariamente associadas a nenhum dos dois formatos de representação.

O formato vetorial pode ser representado em diversos modelos de representação. Esses modelos são relacionados às técnicas de armazenamento de objetos espaciais, como, por exemplo, o modelo *Spagetti*, o modelo *Topológico* e o modelo de *Grafo*, e podem ser implementados em diversas estruturas. De acordo com [Cere96], não existe um consenso na forma de representação geométrica em um SIG, fazendo com que diferentes implementações utilizem modelos de representação diferentes. Uma descrição detalhada desses modelos pode ser vista em [LaTh92].

1.2 Representação da Realidade Geográfica

1.2.1 O Espaço Cognitivo – Fatores Humanos na Interpretação do Espaço

O aspecto cognitivo é um fator importante na percepção espacial. No modelo humano de percepção espacial, os conceitos usados para compreender o espaço são frequentemente baseados em noções que não podem ser diretamente implementadas, necessitando de uma definição formal. As relações espaciais fundamentais, como por exemplo, *dentro de*, *através* e *perto*, são explicadas em termos lingüísticos, não estando, entretanto, formalmente definido como devem ser implementadas [MaFr90]. Além disso, de acordo com a visão do observador, abstrações diferentes podem ser obtidas para uma mesma realidade [Fran92]. Um rio, por exemplo, pode ser percebido como um espaço entre suas margens, como um polígono de água ou como um fluxo formando a rede hidrográfica, dependendo das circunstâncias e da interpretação do observador. Esse tratamento diferente para uma mesma entidade geográfica é conhecido como *múltipla representação* e está associado às necessidades específicas de diferentes aplicações. Segundo [Cere96], sob o ponto de vista de banco de dados, as diferentes representações podem ser consideradas visões de uma mesma entidade geográfica.

Estudos detalhados sobre a compreensão do espaço e a forma de descrevê-lo e explicá-lo podem ser vistos em [MaFr90, EKFM90]. Em [Cere96] encontra-se um estudo detalhado de visões em um SIG.

1.2.2 Visão de Campos e Objetos

Segundo Goodchild [FrGo90, Good92], a realidade geográfica pode ser percebida segundo duas visões: a visão de *campos* e a visão de *objetos*. Na visão de *campos* (também chamada de *modelo de campos*), o mundo real é visto como uma superfície contínua sobre a qual entidades geográficas variam continuamente segundo diferentes distribuições. Cada fenômeno é visto como uma camada contínua, não existindo nenhuma posição no espaço geográfico que não esteja associada a algum valor correspondente à variável representada. É comum a subdivisão dessa camada contínua em regiões de mesmo conteúdo (variável constante) como, por exemplo, uma superfície de vegetação, onde cada área representa um determinado tipo de vegetação. Normalmente, os fenômenos naturais, físicos ou biológicos são representados por variáveis contínuas como, por exemplo, temperatura, pressão atmosférica e tipo de solo. Na visão de *objetos* (também chamada de *modelo de objetos*), a realidade é vista como uma superfície ocupada por entidades identificáveis e cada posição (x,y) do espaço poderá estar ou não ocupada. Cada entidade possui uma determinada posição, geometria e características próprias.

Na prática, a variação contínua dos atributos é frequentemente percebida como um conjunto de elementos discretos, como os identificados por Goodchild [Good92, Lito96, Kemp92]: amostragem de pontos, isolinhas, regiões conectadas e grade de células (Tabela 1).

VISÃO DE CAMPOS	DEFINIÇÃO	EXEMPLOS
Amostragem de pontos	O espaço é modelado como um conjunto de pontos onde cada ponto possui atributos que descrevem sua relação com outros pontos	Modelos numéricos de terreno (pontos regularmente distribuídos) Estações de medição de temperatura (pontos irregularmente distribuídos)
Isolinhas	O espaço é modelado como um conjunto de linhas aninhadas onde cada linha possui um valor associado.	Curvas de nível, curvas de temperatura
Polígonos	Subdivisão do espaço em polígonos adjacentes, onde cada posição pertence a um só polígono	Tipos de solo, tipos de vegetação
Grade regular de células	Subdivisão uniforme do espaço, em células. Cada célula armazena um valor numérico que representa uma variável contínua	Imagens de satélite
Rede triangular irregular	O espaço é modelado como uma grade de triângulos irregulares. Cada ponto possui um par de coordenadas (x,y) e a superfície um valor Z, os pontos são conectados por segmentos formando um conjunto de triângulos	TIN <i>Triangulated irregular network</i>

Tabela 1 – Visão de Campos

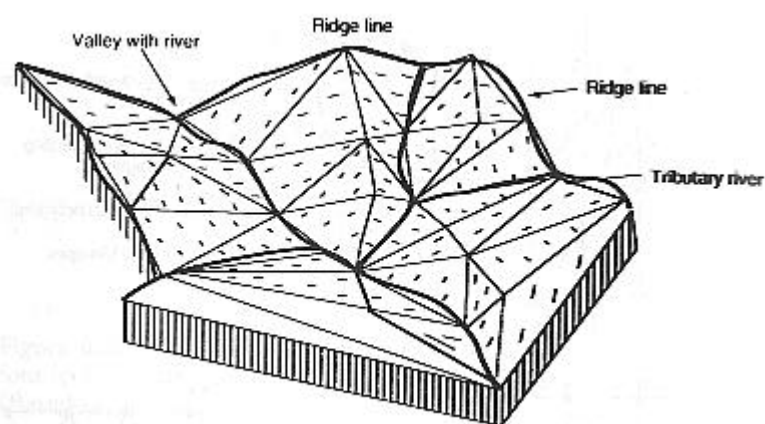


Figura 1a – TIN

1.3 Relações Espaciais

Relações espaciais estão presentes tanto nas linguagens de consulta espacial quanto nas aplicações geográficas. Segundo [PaTh97], a representação e o processamento das relações espaciais são cruciais nas aplicações geográficas porque frequentemente, no contexto do espaço geográfico, relações entre entidades espaciais são tão importantes quanto as próprias entidades. Dependendo do domínio da aplicação algumas relações espaciais tornam-se mais importantes que outras. Em [EgFr91], as relações espaciais foram agrupados em três categorias: topológicas, métricas e de ordem. As *relações topológicas* são consideradas relações que descrevem os conceitos de vizinhança, incidência, sobreposição, mantendo-se invariante ante a transformações como escala e rotação (por exemplo, *disjunto*, *adjacente*, *dentro de*). As *relações métricas* são consideradas em termos de distâncias e direções. As relações *direccionais* descrevem a orientação no espaço como, por exemplo, norte e sul. Segundo [MaFr90], as relações direcionais dependem de aspectos cognitivos que variam culturalmente. As *relações relativas a ordem* total ou parcial dos objetos espaciais são descritas por preposições como *em frente a*, *atrás*, *acima* e *abaixo*.

As relações de distâncias são exemplificadas em [Fran96] como *longe (far)* e *perto (near)*. As relações de distância dependem de definições métricas no sentido de parametrizar *quanto é perto ou longe*. Essa parametrização dependerá das circunstâncias e das entidades geográficas relacionadas. [PuEg88], citado por [Fran96], considera mais um tipo de relação, a relação *fuzzy*, exemplificado como *próximo a (next to e close)*. Considerando que as relações de distância também não são precisas, não retornando um valor booleano, e como em nossa cultura preposições como *next to*, *close* e *near* não possuem diferenças significativas, consideraremos as relações de distâncias também como relações *fuzzy*.

As três categorias básicas de relações são importantes para o armazenamento e recuperação das informações por fornecerem semântica e consistência geométrica às análises realizadas sobre os objetos geográficos armazenados nos SIGs [StMa97].

Nos últimos anos, progressos foram feitos na área de formalização de relações espaciais [Free75, EgHe90, Feut93, EgFr91, ClFO93, Cama95, Fran96, MaES95]. No entanto, não existe um consenso quanto a um conjunto mínimo de relações. Também, conforme visto em [MaFr90], características culturais interferirão na adoção dos termos que descrevem as relações espaciais. Segundo [Fran96], as relações espaciais também dependem do tipo de espaço considerado. Ele cita, como exemplo, direções cardeais que são somente usadas em grandes escalas. Estudos especiais sobre as relações topológicas podem ser vistos em [PaTh97, EgHe90, EgFr91, MaES95, LeCh95].

[Free75] propôs treze tipos de relação espacial: *à esquerda de*, *a direita de*, *acima* (mais alto que sobre), *abaixo de* (sob), *atrás de*, *próximo a*, *longe de*, *ao lado de* (adjacente a), *tocando em*, *dentro de*, *fora de* e *entre*. Em [EgHe90] foram propostos oito: *disjunto*, *encontram*, *igual*, *dentro de*, *contém*, *cobre*, *coberto por* e *sobreposição*. [Feut93] propôs os seguintes tipos de relação: *adjacência*, *proximidade*, *subdivisão*, *sobreposição*, *vizinho mais próximo*, *sub-região*. Finalmente, em [ClFO93] foram

propostas mais cinco tipos: *dentro de*, *superposto a*, *tocando em*, *cruzando* e *disjunto*. [Fran96] propõe a combinação das relações métricas (especificamente distância e direções cardiais) com as relações topológicas como forma de melhor descrever as situações no espaço para grandes escalas. A Figura 2 exemplifica as relações topológicas.

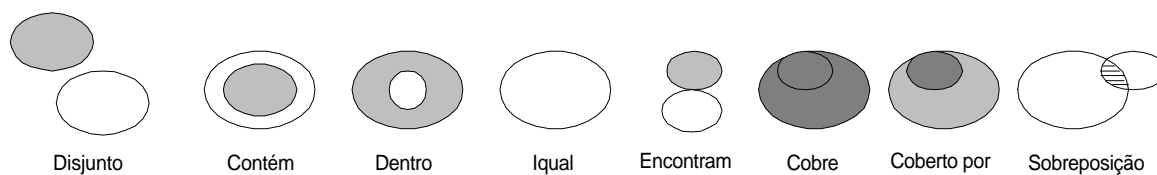


Figura 2 - Relações Topológicas

1.4 Conceitos Fundamentais em Modelagem de Dados

Um modelo de dados é um conjunto de conceitos que podem ser usados para descrever a estrutura e as operações em um banco de dados [ELNa94]. O modelo busca sistematizar o entendimento que é desenvolvido a respeito de objetos e fenômenos que serão representados em um sistema informatizado. Os objetos e fenômenos reais, no entanto, são complexos demais para permitir uma representação completa, considerando os recursos à disposição dos sistemas gerenciadores de bancos de dados (SGBD) atuais. Desta forma, é necessário construir uma *abstração* dos objetos e fenômenos do mundo real, de modo a obter uma forma de representação conveniente, embora simplificada, que seja adequada às finalidades das aplicações do banco de dados.

A *abstração* de conceitos e entidades existentes no mundo real é uma parte importante da criação de sistemas de informação. Além disso, o sucesso de qualquer implementação em computador de um sistema de informação é dependente da qualidade da transposição de entidades do mundo real e suas interações para um banco de dados informatizado. A abstração funciona como uma ferramenta que nos ajuda a compreender o sistema, dividindo-o em componentes separados. Cada um destes componentes pode ser visualizado em diferentes níveis de complexidade e detalhe, de acordo com a necessidade de compreensão e representação das diversas entidades de interesse do sistema de informação e suas interações.

Ao longo dos anos, desde o surgimento dos primeiros SGBDs, foram criados vários modelos de dados que apesar de muitas vezes terem a pretensão de se constituírem em ferramentas genéricas, refletem as condicionantes tecnológicas dos SGBDs à época de sua criação. Existem vários tipos de modelos, desde os que possuem descrições orientadas aos usuários chamados *infological* até aqueles cuja principal preocupação é a representação no computador, os *datalogical*. Os modelos podem ser classificados em: modelos de dados conceituais, modelos de dados lógicos e modelos de dados físicos [ELNa94]. Os modelos de dados lógicos, também chamados de clássicos, se destinam a descrever a estrutura de um banco de dados apresentando um nível de abstração mais próximo das estruturas físicas de armazenamento de dados. Uma característica desse tipo de modelo é a sua inflexibilidade, forçando a adequação da realidade à estrutura proposta por ele. Os modelos de dados relacional, de redes e hierárquico, exemplos de modelos lógicos, são implementados diretamente por vários sistemas gerenciadores de banco de dados (SGBD) existentes comercialmente. Os modelos de dados conceituais são os mais adequados para capturar a semântica dos dados e, conseqüentemente, para modelar e especificar as suas propriedades. Eles se destinam a descrever a estrutura de um banco de dados em um nível de abstração independente dos aspectos de implementação. Como exemplo desse tipo de modelo, temos o modelo entidade-relacionamento proposto por Chen [Chen76], o modelo funcional [SiKe77, Ship81], o modelo binário [Abri74] e os modelos orientados a objetos [Ditt86]. Já os modelos de dados físicos são utilizados para descrever as estruturas físicas de armazenamento.

A orientação a objetos é uma tendência em termos de modelos para representação de aplicações geográficas [OlPM97, KöPS96, PeBS97, AbCa94, Benn96, NaFe94, EgFr92, WOHM90, DaBo94]. Conforme Câmara et al. [CCHM96, pág.50] “a modelagem orientada

a objetos não obriga o armazenamento em um SGBD orientado a objetos, mas simplesmente visa dar ao usuário maior flexibilidade na modelagem incremental da realidade.” Os objetos geográficos se adequam bastante bem aos modelos orientados a objetos ao contrário, por exemplo, do modelo de dados relacional que não se adequa aos conceitos natos que o homem tem sobre dados espaciais. Os usuários têm que artificialmente transferir seus modelos mentais para um conjunto restrito de conceitos não espaciais. Nos últimos anos, modelos de dados orientados a objetos têm sido desenvolvidos para expressar e manipular as complicadas estruturas de conhecimento usadas nas diversas aplicações não-convencionais como CAD/CAM, multimídia, CASE, sistemas de informação geográfica, entre outras. Brodie [Brod84 apud Lisb97] denomina de modelos semânticos de propósito especial, os modelos desenvolvidos para atender as demandas das área de aplicações não-convencionais.

Não é surpresa se constatar que, até o aparecimento dos primeiros SIGs, praticamente nada existia em termos de representação específica em modelo de dados, de entidades geográficas ou espaciais. No entanto, o grau de generalidades das técnicas de modelagem de dados permite representar estes tipos de entidades, embora com graus variados de sucesso. Porém, apesar de toda a expressividade oferecida pelas técnicas tradicionais de modelagem de dados, dificuldades surgem devido ao fato de que muitas informações geográficas precisam ser consideradas com respeito à localização onde elas são válidas, o tempo de observação e a sua precisão de obtenção/representação. A modelagem do mundo real é uma atividade complexa porque envolve a *discretização* do espaço geográfico para a sua devida representação. Inúmeros são os fatores envolvidos nesse processo de discretização do espaço. Entre eles citamos:

- *Transcrição da informação geográfica em unidades lógicas de dados* - Para Goodchild [FrGo90], o esquema de uma aplicação geográfica é uma representação limitada da realidade, tendo em vista a natureza finita e discreta da representação nos computadores. Por maior que seja o nível de abstração utilizado, a realidade é modelada através de conceitos geométricos [Fran92] e, para que esses conceitos sejam implementados em computadores, eles precisam ser formalizados, sendo necessário um maior número de conceitos abstratos para descrever os dados geométricos, e um maior número de operações apropriadas, as quais são independente de implementação [MaFr90].
- *Forma como as pessoas percebem o espaço* – O aspecto cognitivo na percepção espacial é um dos aspectos que faz com que a modelagem de dados geográficos seja diferente da modelagem tradicional. Dependendo do observador, da sua experiência e de sua necessidade específica uma mesma entidade geográfica pode ser percebida de diversas formas. Uma escola, por exemplo, poderá ser vista como um símbolo, como uma área, como edificações, depende do observador e do que ele pretende com essa representação. Além do aspecto cognitivo, existe também a questão da escala, onde a mesma entidade geográfica pode ser representada por diferentes formas, de acordo com a escala utilizada. O uso dessas múltiplas representações pode ocorrer simultaneamente, apresentando formas alternativas de representar uma mesma entidade geográfica, como por exemplo, um aeroporto que pode ser representado ao mesmo tempo pela área que ele abrange e pelos símbolos cartográficos que o representam. Poderá também, ser exclusiva, onde cada

representação é válida para visualização em um determinado momento, como por exemplo, os casos da variação de escala. A percepção de que a interpretação do espaço modelado varia é muito importante na definição da melhor forma de representar o mundo real pois, múltiplas representações podem ser necessárias a diferentes propósitos.

- *Natureza diversificada dos dados geográficos* – Além dos dados geográficos possuem geometria, localização no espaço, informações associadas e características temporais, eles ainda possuem origens distintas. Um exemplo dessa diversidade pode ser visto em [Kemp92]. Segundo a autora, os dados ambientais, por exemplo, são derivados de dados disponíveis sobre topografia, clima e tempo, propriedades do solo, propriedades geológicas, cobertura da terra, uso da terra, hidrografia e qualidade da água. Alguns desses fenômenos, como elevação e propriedades do solo, variam continuamente sobre o espaço (visão de campos). Outros, como falhas geológicas e redes de rios, podem ser discretizados (visão de objetos), enquanto outros podem estar em ambas categorias dependendo do nível de detalhe considerado.
- *Existência de relações espaciais* (topológicas, métricas, de ordem e *fuzzy*) - Essas relações são abstrações que nos ajudam a compreender como no mundo real os objetos se relacionam uns com os outros [MaFr90]. Muitas relações espaciais necessitam estar explicitadas no diagrama da aplicação, de forma a torná-lo mais compreensível. As relações topológicas são fundamentais na definição de regras de integridade espacial, que especificam o comportamento geométrico dos objetos.
- *Coexistência de entidades essenciais ao processamento e entidades “cartográficas”* - Entidades “cartográficas” representam a visão do mundo através de objetos lineares não relacionados, ou seja, sem nenhum comprometimento com o processamento [MaFr90]. É comum, principalmente em aplicações geográficas de áreas urbanas, a presença de entidades geográficas com características apenas de exibição, não sendo usadas para processamento geográfico (embora sejam parte do mapa base). Citamos como exemplo, os textos que identificam acidentes geográficos como Serras, Picos, ou objetos como muro, cerca viva, cerca mista e cerca que identificam a delimitação de um lote. O que será provavelmente usado no processamento geográfico será o lote, como um polígono. Se o lote é cercado ou não, e se a delimitação é um muro ou uma cerca, não fará diferença, podendo ser uma informação alfanumérica associada. No entanto, a nível cartográfico é muito utilizado o registro fiel da realidade observada, sendo considerada significativa a visualização dessa informação. Nesse aspecto, o desenvolvimento de aplicações geográficas difere da convencional. Como pode ser percebido, muitas entidades geográficas poderão ser criadas no banco de dados sem que necessariamente tenham sido representadas no esquema da aplicação.

Os primeiros modelos de dados para as aplicações geográficas eram direcionados para as estruturas internas dos SIGs. O usuário era forçado a adequar os fenômenos espaciais às estruturas disponíveis no SIG a ser utilizado. Conseqüentemente, o processo de modelagem não oferecia mecanismos para a representação da realidade de forma mais próxima ao modelo mental do usuário. Ficava evidente que a modelagem de dados geográficos necessitava de modelos mais adequados, capazes de capturar a semântica

dos dados geográficos, oferecendo mecanismos de abstração mais elevados e independência de implementação.

A próxima seção apresenta alguns modelos de dados convencionais mais utilizados na modelagem geográfica. Todo este material está fortemente baseado em [Borg97], onde podem ser encontradas referências adicionais sobre modelagem de dados.

1.5 Modelos de Dados Semânticos

Os modelos de dados semânticos foram desenvolvidos com o objetivo de facilitar o projeto de esquemas de banco de dados provendo abstrações de alto nível para a modelagem de dados, independente do *software* de banco de dados ou hardware utilizado [HuKi87].

Segundo [Nava92], um modelo de dados semântico deve possuir as seguintes características:

- *Expressividade* - O modelo deve distinguir diferentes tipos de dados, relacionamentos e restrições.
- *Simplicidade* – O modelo deve ser simples o bastante para que os usuários possam entender e usar, devendo possuir uma notação diagramática simples.
- *Minimalidade* – O modelo deve consistir num pequeno número de conceitos básicos, que são distintos e ortogonais em seu significado.
- *Formalidade* – O modelo deve ter seus conceitos formalmente definidos.
- *Interpretação única* – Cada esquema deve ser interpretado de forma inequívoca.

Além disso, um modelo semântico deve suportar os seguintes conceitos de abstração [Nava92]:

- *Agregação* - Segundo Navathe [Nava92], agregação é um conceito abstrato de construção de um objeto agregado a partir de objetos componentes. O relacionamento entre o objeto agregado e os componentes é descrito como “é-parte-de”. Num nível mais simples, uma agregação é usada, por exemplo, para agregar atributos, ou seja, um objeto é definido pelo conjunto dos atributos que o descreve.
- *Classificação e Instanciação* - *Classificação* é o processo de abstração no qual objetos similares são agrupados dentro de uma mesma classe. Uma classe descreve as propriedades comuns ao conjunto de objetos. As propriedades podem ser estáticas (estruturais) ou dinâmicas (comportamentais) [Lisb97]. Segundo Brodie [Brod84 apud Lisb97], a maioria dos modelos semânticos representa apenas as características estáticas das entidades. As propriedades dinâmicas são representadas nos modelos orientados a objetos. O relacionamento existente entre o objeto e a sua classe é denominado “é_membro_de” ou “é_instância_de” significando que cada objeto é uma instância da classe [Nava92].
- *Generalização/especialização* - A *generalização* é um processo de abstração no qual um conjunto de classes similares é generalizado em uma classe genérica (*superclasse*). A *especialização* é o processo inverso, onde a partir de uma

determinada classe mais genérica (superclasse) são detalhadas classes mais específicas (subclasses). As subclasses possuem algumas características que as diferem da superclasse. O relacionamento entre cada subclasse e a superclasse é chamado de “é_um” (*is_a*). As subclasses automaticamente herdam os atributos da superclasse [Nava92].

- *Identificação* - Cada conceito abstrato ou objeto concreto tem identificadores únicos [Nava92].

Esses conceitos de abstração têm sido utilizados em diferentes combinações e em diferentes graus nos modelos de dados semânticos. Navathe [Nava92] considera o modelo orientado a objetos como um modelo similar aos modelos semânticos, podendo também ser considerado um modelo semântico que possui adicionalmente: herança de propriedades e métodos que modelam o comportamento dos objetos. Eles possuem também, construtores para a definição de objetos complexos, o que possibilita a representação de aplicações em áreas consideradas não convencionais.

São descritos a seguir, de forma breve, os quatro modelos de dados mais utilizados como base para as extensões geográficas. Uma descrição mais detalhada poderá ser vista nas referências indicadas.

1.5.1 Modelo Entidade-Relacionamento (ER)

O modelo Entidade-Relacionamento (ER) [Chen76], é um dos primeiros modelos de dados semânticos. Ele utiliza apenas três tipos construtores básicos: *entidade* (conjunto de entidades), *relacionamento* (conjunto de relacionamentos) e *atributo* (Figura 3). Várias extensões ao modelo ER foram propostas na literatura [ElWH85, TeYF86, Smsm77, GoHo91, ScSW79, SaNF79, ElNa94], com o objetivo de enriquecer o modelo, com novos conceitos de abstrações.

Uma *entidade* é uma representação abstrata de um objeto do mundo real, que possui uma existência independente e sobre a qual se deseja guardar e recuperar informações. Pode ser algo concreto como uma pessoa ou abstrato como um cargo. Uma entidade que tem sua existência dependente de outra é chamada de *entidade fraca*.

Um *relacionamento* é uma associação entre duas ou mais entidades. No caso de relacionamentos binários, estes podem ter sua cardinalidade expressa por 1:1, 1:N, N:1 ou M:N, indicando o número de vezes que uma entidade pode participar do relacionamento.

Um *atributo* é uma propriedade que descreve uma entidade ou um relacionamento. Um *atributo identificador*, identifica unicamente uma entidade.

O modelo ER possui uma notação gráfica muito simples e poderosa e que por isso mesmo, tem sido largamente utilizada. A Figura 3 apresenta a notação gráfica do modelo ER.

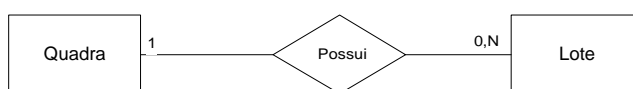
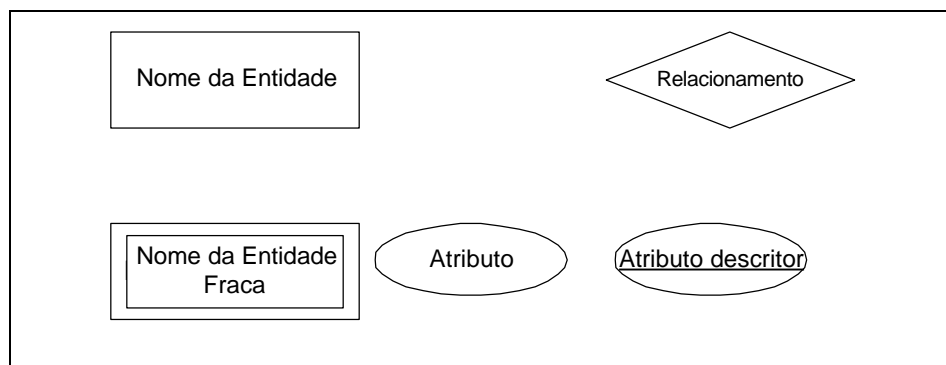


Figura 3 – Construtores Básicos do Modelo ER

“Devido à sua simplicidade de representação e facilidade de aprendizado, tem sido o modelo de maior sucesso como ferramenta de comunicação entre o projetista de banco de dados e o usuário final durante as fases de análise de requisitos e projeto conceitual” [BACN92 apud Lisb97, pág. 64].

1.5.2 Modelagem Orientada a Objetos

Um *objeto* é uma abstração que representa elementos do universo de discurso da aplicação, que podem ser reais como uma pessoa ou abstratos como uma conferência. Cada objeto possui uma identidade que o distingue pela sua própria existência e não pelas propriedades descritivas que ele possa ter. Uma *classe de objetos* descreve um conjunto de objetos com atributos comuns, o mesmo comportamento (operações) e a mesma semântica. As classes são representadas graficamente por retângulos divididos em três partes contendo o nome da classe na parte superior, a lista de atributos na parte do meio e a lista de operações na parte inferior (ver Figura 4). *Atributos* são propriedades dos objetos na classe podendo ser *básicos* ou *derivados*. Atributos derivados são calculados a partir de outros atributos. A apresentação dos atributos é opcional em diagramas. Uma *operação* é uma ação que pode ser aplicada a um objeto, isto é, é uma função ou transformação sobre o objeto. Cada operação pode possuir uma *lista de argumentos*, que é uma seqüência de atributos e suas respectivas classes, e opcionalmente, podem retornar um valor de um certo tipo de dado como *resultado*.

O relacionamento entre objetos e classes é feito através de *ligações* e *associações*. Uma instância de associação é chamada de ligação de objetos. Cada associação é referenciada pelo seu *nome*. O número de classes participantes na associação define seu *grau*. Usam-se *papéis* em associações para qualificar a participação de cada classe relacionada. Eles são obrigatórios para associações onde uma classe participa mais de uma vez. As *associações* podem ser binárias (grau 2), ternárias (grau 3) ou de maior ordem.

Uma *generalização* é um relacionamento entre classes que produz uma hierarquia: uma ou mais de classes generalizam-se em uma classe de nível mais alto. As classes de nível mais baixo são chamadas de *subclasses* e a classe de nível mais alto é chamada *superclasse*. A *herança* é o mecanismo de compartilhamento de características utilizando o relacionamento de *generalização*. As subclasses herdam os atributos, operações, associações e agregações de sua superclasse. Cada subclasse pode acrescentar suas próprias características. Não existe distinção entre *generalização* e *especialização* já que são dois diferentes pontos de vista do mesmo relacionamento. Na *especialização* as subclasses refinam ou especializam a superclasse. Cada *generalização* pode ter um *discriminador* associado, indicando qual propriedade está sendo abstraída pelo relacionamento de *generalização*. Uma *generalização* pode ser *disjunta* ou *sobreposta*. A *generalização* é *disjunta* quando uma instância de uma superclasse é membro de uma e somente uma das subclasses. Ela será *sobreposta* quando uma instância da superclasse for membro de uma ou mais subclasses.

A *agregação* é um modo de associação onde um objeto agregado é feito de objetos componentes. A agregação é também chamada de relacionamento “parte_de”. A notação dos principais construtores gráficos usados na *Unified Modeling Language* (UML) encontram-se na Figura 4. Uma descrição completa do modelo pode ser obtida em [Rati97].

PACOTE

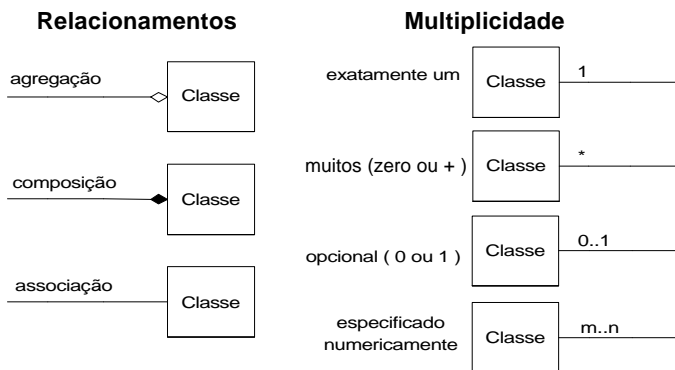
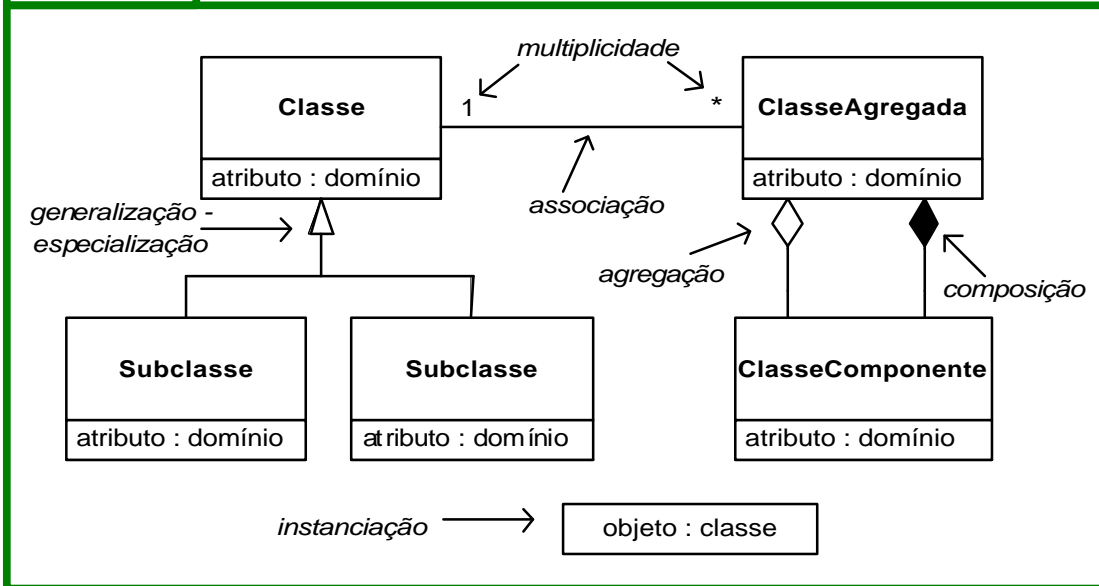


Figura 4 – Construtores mais Ccmuns do diagrama de classes da UML

1.6 Modelos de Dados Geográficos

Modelos de dados semânticos e orientados a objetos, tais como ER [Chen76], OMT [RBPE91], IFO [AbHu87] e outros, têm sido largamente utilizados para a modelagem de aplicações geográficas. Apesar da grande expressividade desses modelos, eles apresentam limitações para a adequada modelagem dessas aplicações, já que não possuem primitivas geográficas apropriadas para a representação de dados espaciais.

Modelos de dados para as aplicações geográficas têm necessidades adicionais, tanto com relação à abstração de conceitos e entidades, quanto ao tipo de entidades representáveis e seu inter-relacionamento. Diversas propostas existem atualmente, principalmente focalizadas em estender os modelos criados para aplicações convencionais como GeoOOA [KÖPS96], MODUL-R [BCMM96], GMOD [OIPM97], , MGEO⁺ [Pime95], IFO para aplicações geográficas [woHM90], GISER [SCGL97], GeoFrame [Lio99], OMT-G [Borg97, BodL00]. Todos eles objetivam refletir melhor as aplicações geográficas. No entanto, antes de adotar qualquer um deles, convém observar os níveis de abstração dos dados geográficos, os requisitos de um modelo de dados geográficos e finalmente, se o que se pretende modelar poderá ser claramente representado no modelo escolhido.

1.6.1 Níveis de Abstração de Dados Geográficos

Modelos de dados variam de acordo com o nível de abstração. Para aplicações geográficas, existem basicamente quatro níveis distintos de abstração (Figura 5):

- *Nível do mundo real* - Contém os fenômenos geográficos a serem representados, tais como rios, ruas e cobertura vegetal.
- *Nível de representação* - 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. Essas classes estão associadas a classes de representação espacial, que variam de acordo com o grau de percepção que o usuário tem sobre o assunto. Essa preocupação não aparece com frequência nas metodologias tradicionais de modelagem de dados, uma vez que as aplicações convencionais raramente precisam lidar com aspectos relativos à representação espacial (única ou múltipla) de objetos. Como exemplo, considere-se uma aplicação envolvendo escolas. Em um sistema de informação tradicional, a classe Escola incluiria atributos de identificação, tais como código, nome e número da escola, e também atributos de localização, como o seu endereço. Em um SIG, o atributo de localização pode também ser representado alfanumericamente, na forma de um endereço postal completo, mas poderia ser melhor representado geograficamente, usando um par de coordenadas. A codificação alfanumérica de um endereço em um banco de dados convencional geralmente não varia; por outro lado, a escola pode ser representada em um SIG através de um símbolo, ou pelos

limites do edifício que ocupa, ou pelas fronteiras do lote que ocupa, ou mesmo por todas estas representações combinadas.

- *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. As classes são definidas no nível de representação conceitual considerando todas as alternativas de representação exigidas para cada objeto. Esta noção é refinada no nível de apresentação, no qual cada alternativa de representação está associada a uma ou mais apresentações. Estas incluem simples operações de seleção de atributos gráficos para visualização em tela, assim como esquemas sofisticados de classificação usados em cartografia temática e também operações de generalização cartográficas complexas, tais como o deslocamento de elementos mapeados para aumentar a clareza e a legibilidade de um mapa impresso.
- *Nível de implementação* - Define padrões, mecanismos de armazenamento, estruturas de dados e funções de uso geral para implementar fisicamente cada representação, conforme definida no nível de representação, e cada apresentação exigida, conforme definido no nível de apresentação.

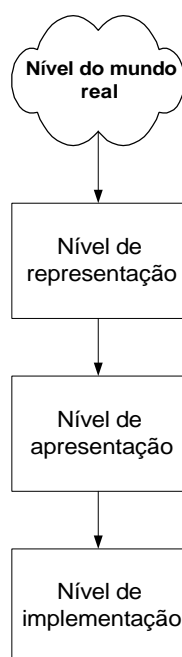


Figura 5 - Níveis de especificação de aplicações geográficas

Esta definição de níveis de abstração difere de algumas propostas. 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. Acreditamos que grande parte da discussão ao redor deste aspecto decorre da já citada 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. Por isso, 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.

Considerando os fatores associados à representação da realidade geográfica e, com base na experiência de modelagem de aplicações geográficas de Belo Horizonte e nos trabalhos de [OLPM97, KÖPS96, BCMM96, Lisb97, BoFo96, PeBS97, CaBe93, SCGL97, CFSC94], relacionamos a seguir um conjunto de requisitos necessários a um modelo de dados voltado para aplicações geográficas.

Um modelo de dados para aplicações geográficas deve:

- fornecer um alto nível de abstração;
- representar e diferenciar os diversos tipos de dados envolvidos nas aplicações geográficas, tais como ponto, linha, área, imagem, etc.;
- representar tanto as relações espaciais e suas propriedades como também as associações simples e de rede;
- ser capaz de especificar regras de integridade espacial;
- ser independente de implementação;
- suportar classes georreferenciadas e classes convencionais, assim como os relacionamentos entre elas;
- ser adequado aos conceitos natos que o ser humano tem sobre dados espaciais, representando as visões de campo e de objetos;
- ser de fácil visualização e compreensão;
- utilizar o conceito de níveis de informação, possibilitando que uma entidade geográfica seja associada a diversos níveis de informação;
- representar as múltiplas visões de uma mesma entidade geográfica, tanto com base em variações de escala, quanto nas várias formas de percebê-las;
- ser capaz de expressar versões e séries temporais, assim como relacionamentos temporais.

Modelo de dados OMT-G

2.1 Características do modelo OMT-G

O modelo OMT-G [BoDL00], uma técnica orientada a objetos voltada para modelagem de aplicações geográficas proposta inicialmente em [Borg97], para trabalhar elementos no nível de representação.

O modelo OMT-G parte das primitivas definidas para o diagrama de classes da *Unified Modeling Language* (UML) [Rati97], 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. Portanto, o modelo OMT-G provê primitivas para modelar a geometria e a topologia dos dados geográficos, oferecendo suporte a estruturas topológicas “todo-parte”, estruturas de rede, múltiplas representações de objetos e relacionamentos espaciais. Além disso, o modelo permite a especificação de atributos alfanuméricos e métodos associados para cada classe. Os principais pontos fortes do modelo são sua expressividade gráfica e suas capacidades de representação, uma vez que anotações textuais são substituídas pelo desenho de relacionamentos explícitos, representando a dinâmica da interação entre os diversos objetos espaciais e não espaciais.

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 com o modelo OMT-G. 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 [BoLD99] e [BoDL00]. As primitivas de classes e relacionamentos serão apresentadas a seguir.

2.2 Classes Básicas

Suas classes básicas são: *Classes Georreferenciadas* e *Classes Convencionais* (Figura 6). Através dessas classes são representados os três grandes grupos de dados (contínuos, discretos e não-espaciais) encontrados nas aplicações geográficas, proporcionando assim, uma visão integrada do espaço modelado, o que é muito importante na modelagem principalmente de ambientes urbanos.

A distinção entre classes convencionais e georreferenciadas permite que aplicações diferentes compartilhem dados não espaciais, desta forma facilitando o desenvolvimento de aplicações integradas e a reutilização de dados.

Uma *Classe Georreferenciada* descreve um conjunto de objetos que possuem representação espacial e estão associados a regiões da superfície da terra [Cama95], representando a visão de campos e de objetos proposta por Goodchild [FrGo90, Good92].

Uma *Classe Convencional* descreve um conjunto de objetos com propriedades, comportamento, relacionamentos, e semântica semelhantes, e que possuem alguma relação com os objetos espaciais, mas que não possuem propriedades geométricas. Um exemplo desse tipo de classe é a que define os proprietários de imóveis cadastrados para fins de tributação (IPTU), e que possuem relação de propriedade com os lotes e edificações presentes no banco de dados geográfico.

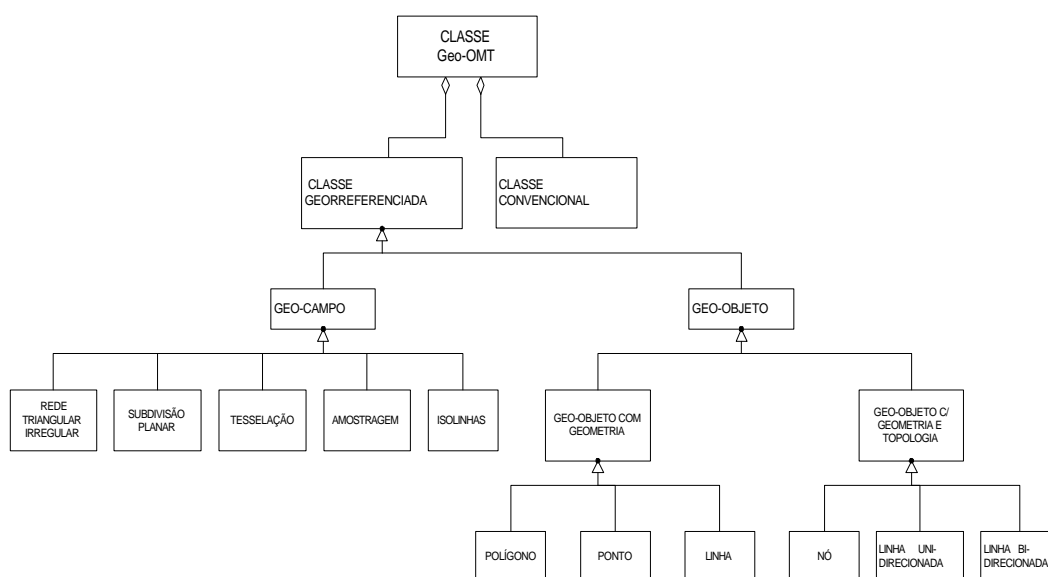


Figura 6- Meta Modelo Parcial do Modelo OMT-G

A distinção entre classes convencionais e classes georreferenciadas permite que diferentes aplicações possam compartilhar dados não-espaciais, auxiliando no desenvolvimento dessas aplicações e na reutilização dos dados [OlPM97].

Tanto as classes georreferenciadas como as classes convencionais podem ser especializadas, utilizando o conceito de herança da orientação a objetos. O modelo OMT-G formaliza a especialização das *Classes Georreferenciadas* em classes do tipo *Geo-Campo* e *Geo-Objeto*.

As classes do tipo *Geo-Campo* representam objetos distribuídos continuamente pelo espaço, correspondendo a grandezas como tipo de solo, topografia e teor de minerais [Cama95].

As classes do tipo *Geo-Objeto* representam objetos geográficos individualizáveis, que possuem identificação com elementos do mundo real, como lotes, rios e postes. Esses

objetos podem ter ou não atributos não-espaciais, e podem estar associados a mais de uma representação geométrica, dependendo da escala em que é representado, ou de como ele é percebido pelo usuário. Por exemplo, um usuário encarregado do gerenciamento de trânsito verá a rua como uma rede direcionada, representando vias de mão simples e dupla; um usuário encarregado do cadastro da cidade, interessado em conhecer os proprietários dos lotes, verá a rua como o espaço entre os meios-fios.

Todas as subclasses georreferenciadas apresentam uma representação simbólica, construindo assim um sistema semântico onde cada símbolo possui significado próprio que incorpora a sua natureza e a geometria.

A inclusão de símbolos geométricos nas classes de entidades geográficas, em substituição aos relacionamentos que descrevem a geometria do objeto, simplifica significativamente o esquema final e de acordo com a semiologia gráfica [Bert67], a linguagem visual é mais intuitiva e expressiva proporcionando uma percepção imediata do conteúdo analisado. Representações gráficas que exigem demorada leitura tornam-se ineficazes. Portanto, o uso desse tipo de abstração, além de eliminar pelo menos um relacionamento por classe gráfica, elimina a necessidade de modelar a estrutura de dados geométrica² que descreve a classe [BePa89].

Os pictogramas de um *Geo-objeto* estão exemplificados na Figura 7. O ponto representa um símbolo como por exemplo uma árvore, a linha representa segmentos de reta formados por uma linha simples, um arco ou por uma polilinha (ex. muro, trecho de rua, trecho de circulação) e o polígono representa uma área (ex. edificação, lote).

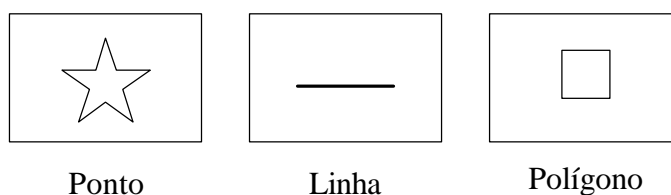


Figura 7 - Pictogramas da Classe *Geo-Objeto*

As classes convencionais são simbolizadas exatamente como na UML [Rati97]. As classes georreferenciadas são simbolizadas no modelo OMT-G de forma semelhante (Figura 8a), 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 8b). 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 9) e geo-campos (Figura 9). Usar pictogramas na primitiva usada para representar classes georreferenciadas, em vez de usar relacionamentos para descrever a geometria dos objetos, simplifica significativamente o esquema final.

² A estrutura de dados geométrica depende da técnica de implementação de cada SIG.

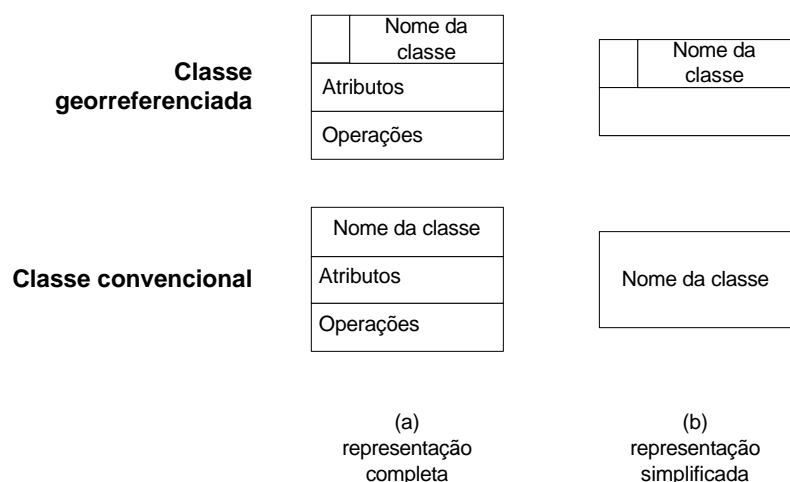


Figura 8 - Notação gráfica para as classes do modelo OMT-G

2.2.1 Geo-Campo

O modelo OMT-G define cinco classes descendentes de *Geo-Campo*: *Isolinhas*, *Subdivisão Planar*, *Tesselação*, *Amostragem* e *Rede Triangular Irregular*. Cada uma dessas classes possui um padrão simbólico de representação (Figura 9).

De acordo com os níveis de especificação de aplicações geográficas, a especialização da classe *Geo-Campo* corresponde ao nível de representação.

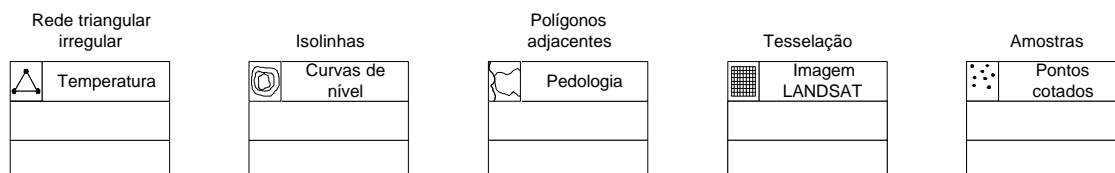


Figura 9 - Geo-campos

Por representar a distribuição espacial contínua de um fenômeno geográfico sobre o espaço, qualquer posição no espaço geográfico considerado deverá corresponder a algum valor da variável representada, obedecendo ao princípio do “*planar enforcement*” [Good92] (restrição de preenchimento do plano).

Um exemplo de *Geo-Campo* são as curvas de nível. Qualquer ponto na superfície modelada possui uma cota. Enfocando não só o aspecto ambiental, mas também o urbano, um outro exemplo são as subdivisões territoriais que abrangem todo um município (Figura 10).

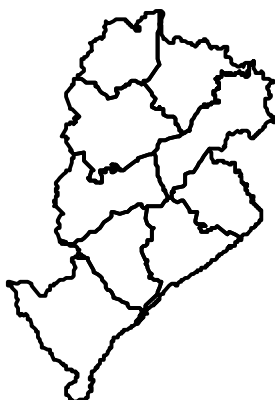


Figura 10 – Administrações Regionais de Belo Horizonte

As subclasses da classe *Geo-Campo* são as seguintes:

- *Subclasse Amostragem* - Representa uma coleção de pontos regular ou irregularmente distribuídos por todo o espaço geográfico. Exemplo: estações de medição de temperatura, modelos numéricos de terreno ou pontos cotados em levantamentos altimétricos de áreas urbanas (Figura 9).
- *Subclasse Isolinhas* - Representa uma coleção de linhas fechadas que não se cruzam nem se tocam (aninhadas). Cada instância da subclasse contém um valor associado. Exemplo: curvas de nível, curvas de temperatura e curvas de ruído. Deve-se observar que o fechamento das isolinhas sempre ocorrerá quando se considera o espaço geográfico como um todo, no entanto, na área em que se está modelando isto poderá não ocorrer (Figura 9).
- *Subclasse Subdivisão Planar* - Representa o conjunto de subdivisões de todo o domínio espacial em regiões simples que não se sobrepõem e que cobrem completamente este domínio. Exemplo: tipos de solo, divisão de bairros, divisões administrativas e divisões temáticas (Figura 9).
- *Subclasse Tesselação* - Representa o conjunto das subdivisões de todo o domínio espacial em células regulares que não se sobrepõem e que cobrem completamente este domínio. Cada célula possui um único valor para todas as posições dentro dela. Exemplo: imagem de satélite (Figura 9).
- *Subclasse Rede triangular Irregular* - representa o conjunto de grades triangulares de pontos que cobrem todo o domínio espacial. Um exemplo de rede triangular irregular é visto em modelagem de terreno (TIN - rede irregular triangularizada.) (Figura 9)

2.2.2 Geo-Objeto

O modelo OMT-G duas classes descendentes de geo-objeto: *geo-objeto com geometria* e *geo-objeto com geometria e topologia* (Figura 11)

A classe *geo-objeto com geometria* representa objetos que possuem apenas propriedades geométricas, e é especializada nas classes *ponto*, *linha* e *polígono*. A classe *geo-objeto com geometria e topologia* representa objetos que possuem, além das propriedades geométricas, propriedades de conectividade topológica, sendo especificamente voltadas para a representação de estruturas em rede, tais como sistemas de abastecimento de água ou fornecimento de energia elétrica. Essas propriedades estão presentes em classes descendentes que representam nós e arcos, da forma usualmente adotada na teoria dos grafos. Os arcos podem ser unidirecionais, como em redes de esgoto, ou bidirecionais, como em redes de telecomunicações. Assim, as especializações previstas são denominadas *nó de rede*, *arco unidirecional* e *arco bidirecional*. O foco do modelo OMT-G com respeito a redes não está concentrado na implementação do relacionamento entre seus elementos, mas sim na semântica da conexão entre elementos de rede, que é um fator relevante para o estabelecimento de regras que garantam a integridade do banco de dados.

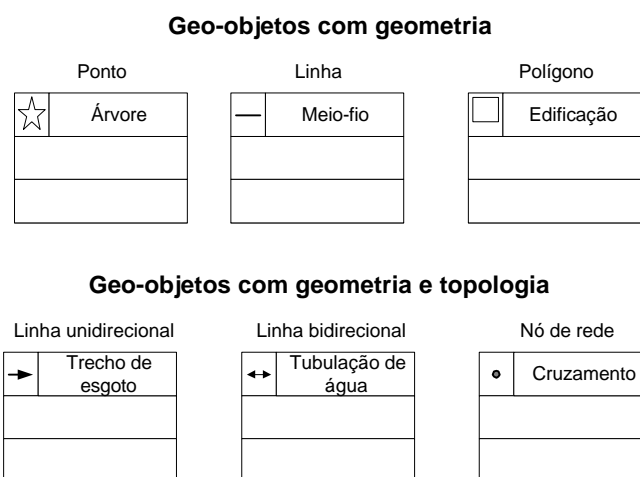


Figura 11- Geo-Objetos

Classes do tipo *Geo-Objeto*: *Geo-Objeto com Geometria* e *Geo-Objeto com Geometria e Topologia*. Cada uma dessas classes possui um padrão simbólico de representação representado na Figura 11.

Uma classe do tipo *Geo-Objeto com Geometria* representa objetos que possuem apenas propriedades geométricas (Ponto, Linha e Polígono) e é especializada em classes do tipo Ponto, Linha e Polígono. Exemplos desta classe são, respectivamente, ponto de ônibus, trecho de logradouro e quadras.

Uma classe do tipo *Geo-Objeto com Geometria e Topologia* representa objetos que possuem, além das propriedades geométricas, propriedades topológicas de *conectividade*, sendo representados por nós e segmentos orientados. É especializada em classes do tipo Nó, Linha Uni-direcionada e Linha Bi-direcionada. Exemplos desta classe são as redes de malha viária, de água e esgoto. Os segmentos orientados traduzem o sentido do fluxo da rede, se uni-direcional ou bi-direcional, dando mais semântica à representação. “Alguns tipos de aplicações (ex.: rede de água, redes viárias, cadastro urbano, etc.) possuem características, onde os relacionamentos do tipo *conectividade* e

adjacência são fundamentais. Alguns SIGs oferecem suporte ao armazenamento desses tipos de relacionamentos, porém, no nível conceitual é importante que o projetista consiga representá-los” [LiIo96].

As subclasses da classe *Geo-Objetos* são as seguintes:

- *Subclasse Polígono* - representa objetos de área, podendo aparecer conectada, como lotes dentro de uma quadra, ou isolado, como a representação de uma ilha (Figura 11).
- *Subclasse Ponto* - representa objetos pontuais, que possuem um único par de coordenadas (x, y). Na representação do mobiliário urbano é freqüente o uso de símbolos, como por exemplo na representação de postes, orelhão, hidrante, etc (Figura 11).
- *Subclasse Linha* - representa objetos lineares sem exigência de conectividade. Como exemplo podemos citar a representação de muros, cercas e meios-fios (Figura 11).
- *Subclasse Nó* - representa os objetos pontuais no fim de uma linha, ou os objetos pontuais nos quais as linhas se cruzam (nó do grafo). Possui a propriedade de conectividade, garantindo a conexão com a linha. Exemplos de nó podem ser vistos na modelagem de redes. Por exemplo, o poço de visita na rede de esgoto ou o cruzamento (interseção de vias) na malha viária (Figura 11).
- *Subclasse Linha Uni-direcionada* - representa objetos lineares que começam e terminam em um nó e que possuem uma direção (arco do grafo orientado). Cada linha deve estar conectada a dois nós ou a outra linha uni-direcionada. Como exemplo podemos citar trechos de uma rede de esgoto, que indicam a direção do fluxo da rede (Figura 11).
- *Subclasse Linha Bi-direcionada* - representa objetos lineares que começam e terminam em um nó e que são bi-direcionados. Cada linha bi-direcionada deve estar conectada a dois nós ou a outra linha bi-direcionada. Como exemplo podemos citar trechos de uma rede de água, onde a direção do fluxo pode ser nos dois sentidos dependendo do controle estabelecido (Figura 11).

As instâncias da classe *Geo-Objeto* não obedecem ao princípio do “*planar enforcement*” [Good92], podendo estar disjuntas no espaço ou ocupando o mesmo lugar, como é o caso de um poste com um semáforo de pedestre e uma placa de sinalização.

A Figura 12 exemplifica o uso da notação gráfica de classes do tipo *Georreferenciadas* e *Convencionais*. O esquema mostra parte de uma aplicação de transporte coletivo, onde a classe *Divisa Municipal* estabelece o espaço modelado. A classe *Linha de Ônibus* se relaciona com a classe *Ponto de Ônibus*. Cada *Ponto de Ônibus* é localizado em frente a um endereço de imóvel podendo estar próximo ou dentro de um local de referência da cidade. Pela notação utilizada, fica explícito que a *Linha de Ônibus* é uma classe *convencional*, o *Ponto de Ônibus* e o endereço são classes de *Geo-Objetos* do tipo *Ponto* e a *Área de Referência* é uma Classe de *Geo-Objeto* do tipo *Polígono*. A Classe *Divisa Municipal* é um *Geo-Campo* do tipo *Polígono Adjacente*.

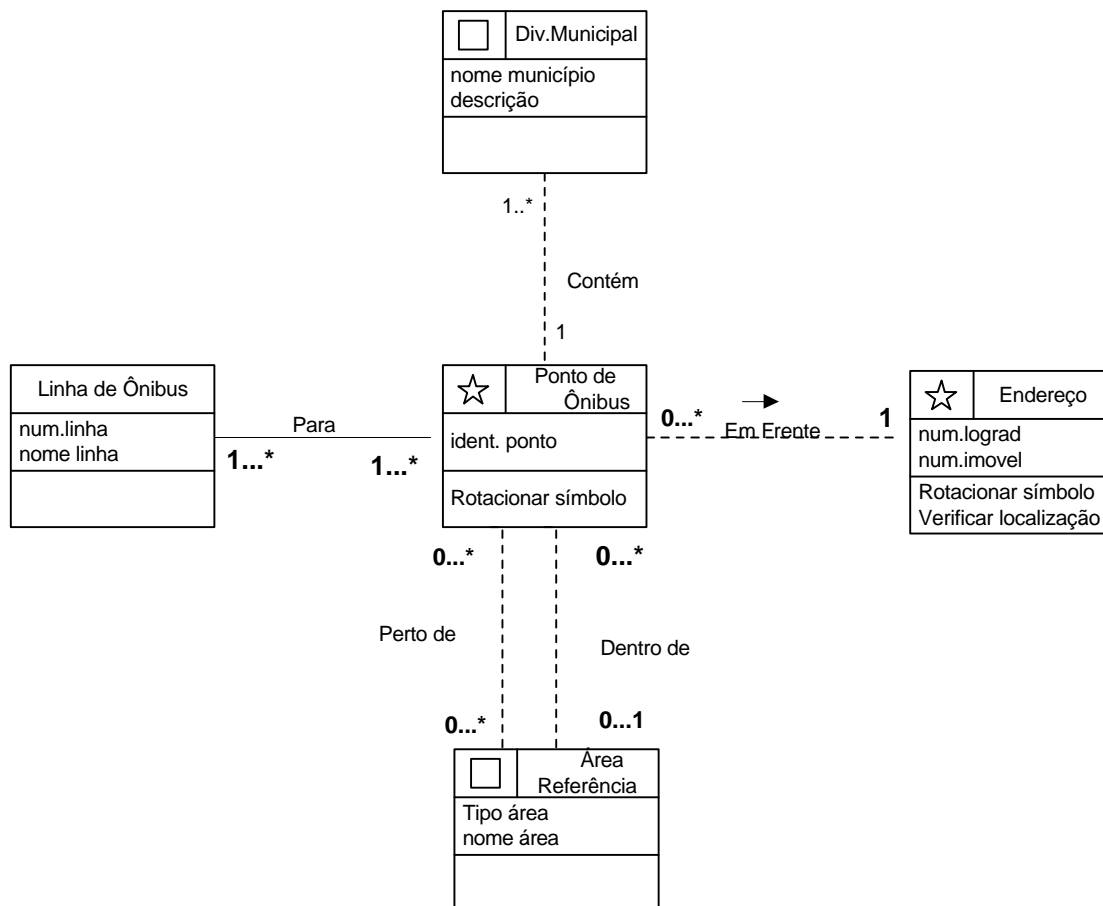


Figura 12 – Exemplo de Classes do Tipo *Geo-Objeto*

2.2.3 Relacionamentos

Segundo [OLPM97], um problema existente na maioria dos modelos de dados é o fato deles ignorarem a possibilidade de modelagem dos relacionamentos entre fenômenos do mundo real. Considerando a importância das relações espaciais e não espaciais na compreensão do espaço modelado, o modelo OMT-G representa os seguintes tipos de relacionamentos entre suas classes: associações simples, relações topológicas de rede e relações espaciais.

As associações simples representam relacionamentos estruturais entre objetos de diferentes classes, tanto convencionais como georreferenciadas. A instância individual de uma associação é chamada *link*. Muitas associações são binárias, sendo representadas por uma linha contínua ligando duas classes [RBPE91, Rumb96] (Figura 13a). Uma

associação pode ter sobre o seu nome uma seta mostrando qual o sentido da relação. Algumas associações podem ter atributos próprios.

As relações espaciais representam as relações topológicas, métricas, ordinais³ e *fuzzy*. Algumas relações podem ser calculadas a partir das coordenadas de cada objeto durante a execução das operações de análise espacial. As relações topológicas são exemplos deste caso. Outras necessitam ser especificadas pelo usuário para que o sistema consiga manter estas informações. Estas relações são chamadas de *explícitas* [Peuq84 apud Lisb97]. A representação dessas relações no modelo OMT-G têm por objetivo tornar explícita a interação espacial entre as classes quando for relevante para o propósito da aplicação.

Todas as relações espaciais são representados por linhas pontilhadas (Figuras 13b e 13c).

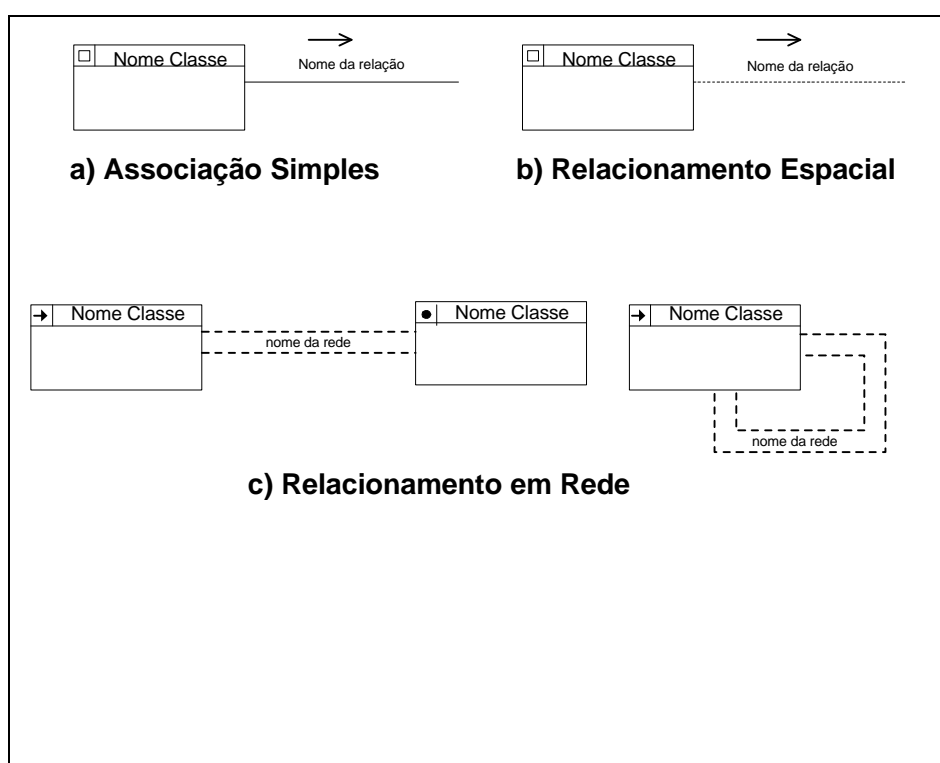


Figura 13 – Relacionamentos

As relações em rede são relacionamentos entre objetos que estão conectados uns com os outros e que podem ser mantidos através de estruturas de dados dos SIGs, sendo representadas por nós e arcos conectados.

³ Relações relativas a ordem

Relacionamentos em rede são indicados por duas linhas pontilhadas paralelas entre as quais o nome do relacionamento é anotado. As linhas fazem a ligação entre as classes do tipo Nó com classes do tipo Linha Uni ou Bi-direcionada. Estruturas de rede sem nó, apresentarão um relacionamento recursivo na classe que representa os segmentos do grafo (Figura 13c).

Os nomes das relações espaciais estão formalizados abaixo e, conforme dito anteriormente, poderão ser seguidos por uma seta indicando a origem da relação. Exemplificando melhor, citamos o caso de lote e rede elétrica. A relação entre as duas classes é *em frente a*. A seta deve ser na direção lote→ rede elétrica indicando que a relação é importante quando se está no lote. Em cada instância da classe Lote é necessário saber se existe rede elétrica *em frente* e não na instância de um trecho de rede elétrica saber se existe lote *em frente*. É uma questão de maior clareza semântica.

Baseado em [PaTh97, Free75, EgHe90, Feut93, EgFr91, ClFO93, Cama95, Fran96, MaES95], o modelo OMT-G considera as seguintes relações espaciais entre as *Classes Georreferenciadas*: *disjunto*, *contém*, *dentro de (contido)*, *toca (encontra)*, *cobre*, *coberto por*, *sobrepõe*, *adjacente*, *perto de*, *acima* (mais alto que sobre), *abaixo* (mais baixo que sob), *sobre*, *sob*, *entre*, *coincide*, *cruza*, *atravessa*, *em frente a*, *à esquerda*, *à direita*. As relações *contém/dentro de (contido)* são um tipo de Agregação Espacial. A seguir daremos, o significado semântico de cada relação espacial.

- *Disjunto* – Não existe nenhum tipo de contato entre as classes relacionadas.
- *Contém* – A geometria da classe que contém envolve a geometria das classes contidas. Uma instância da classe que contém envolve uma ou mais instâncias da(s) classe(s) contida(s). a classe que contém deve ser do tipo *Polígono (Geo-Objeto)* ou *Subdivisão Planar (Geo-Campo)*.
- *Dentro de* – Existem instâncias de uma classe qualquer, dentro da (contida na) geometria de instâncias das classes do tipo *Polígono (Geo-Objeto)* ou *Subdivisão Planar (Geo-Campo)*.
- *Toca* - Existe um ponto (x,y) em comum entre as instâncias das classes relacionadas. Consideramos esta relação um caso particular da relação *adjacente*.
- *Cobre/coberto por* - A geometria das instâncias de uma classe envolve a geometria das instâncias de outra classe. A classe que cobre é sempre do tipo polígono (*Geo-Objeto*).
- *Sobrepõe* - Duas instâncias se sobrepõem quando há uma interseção de fronteiras. Só será usado para relações entre polígonos (*Geo-Objeto*). Apenas parte da geometria é sobreposta.
- *Adjacente* - Utilizado no sentido de vizinhança, ao lado de, contíguo.
- *Perto de* - Utilizado no sentido de proximidade. Deve estar associado a uma distância “d”, que define quanto será considerado perto. Esta distância poderá ser uma distância euclidiana, um raio, um intervalo ou qualquer outra definida pelo usuário.
- *Acima / Abaixo* – *Acima* é mais alto que sobre, e *abaixo* mais baixo que sob. Será considerado *acima* ou *abaixo*, quando as instâncias estiverem em planos diferentes.

- *Sobre / Sob* - Utilizado no sentido de “em cima de” / “em baixo de”, no mesmo plano.
- *Entre* - Utilizado no sentido posicional, enfatizando a localização de uma instância de determinada classe entre duas instâncias de outra classe.
- *Coincide* - Utilizado no sentido de igual. Duas instâncias de classes diferentes que possuem o mesmo tamanho, a mesma natureza geométrica e ocupam o mesmo lugar no espaço. Essa relação é um caso particular do *sobre/sob*.
- *Cruza* - Existe apenas um ponto P (x,y) comum entre as instâncias.
- *Atravessa* - Uma instância atravessa integralmente outra instância, tendo no mínimo dois pontos P₁ (x₁,y₁) e P₂ (x₂,y₂) em comum. Este é um caso particular de *cruza*, que foi separado por fornecer maior expressão semântica.
- *Em frente a* - utilizado para dar ênfase à posição de uma instância em relação à outra. Uma instância está “de face” para outra. *Paralelo a* poderá ser usado na relação entre linhas, por ser semanticamente mais significativo.
- *À esquerda / à direita* - Utilizado para dar ênfase na lateralidade entre as instâncias. No entanto, a questão de lateralidade deve estar bem definida nas aplicações no SIG, de forma a ser possível formalizar o que é lado direito e esquerdo.

Algumas relações só são possíveis entre determinadas classes, pois são dependentes da forma geométrica. Por exemplo, a existência da relação *dentro de* pressupõe que uma das classes relacionadas seja um polígono. Neste aspecto, as aplicações tradicionais diferem das geográficas, onde as associação entre classes convencionais independem de fatores como forma geométrica. Este é um dos pontos onde a modelagem tradicional difere da modelagem de dados geográficos. Ao se modelar uma aplicação geográfica, as formas de representação das entidades geográficas normalmente já serão conhecidas, visto que existe uma interdependência entre a natureza da representação, o tipo de interpretação e a finalidade que será dada a cada entidade geográfica. No modelo OMT-G isto é considerado para que sejam estabelecidas as relações que envolvem classes *Georreferenciadas*.

A Figura 15 e Figura 16 exemplificam as possíveis relações espaciais entre as *Classes Georreferenciadas*. É apresentado um conjunto de relações. Outras podem ser derivadas de combinações das relações já existentes, como também acrescentadas. Concentramos na expressividade semântica de cada palavra, tentando aproximar ao máximo, o nome das relações à linguagem natural. A formalização tem por objetivo auxiliar os analistas de sistemas no projeto da aplicação e facilitar a interpretação do esquema da aplicação por parte dos usuários, uma vez que o significado semântico de cada nome de relação será conhecido. Deve-se evitar traduções entre uma linguagem formal e uma natural. Através da formalização são fornecidos quais são as relações possíveis entre *Geo-Objetos* e *Geo-Campos*. As relações *à esquerda de* e *à direita de*, não foram consideradas nas tabelas da Figura 16 por serem possíveis em qualquer combinação. A relação entre polígonos está exemplificada na Figura 15

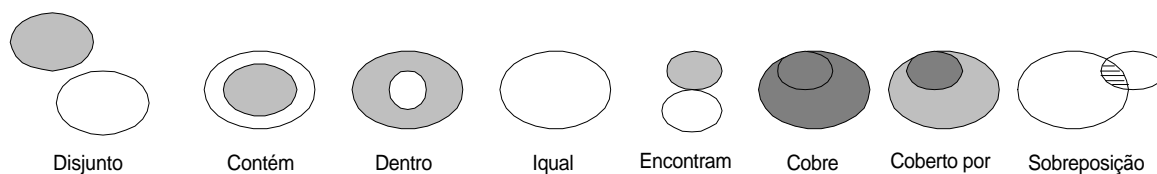


Figura 15 – Relacionamentos Espaciais entre Polígonos

LINHA / LINHA	
Disjunto	
Toca	
Cruza	
Coincidente	
Acima/ Abaixo	
Adjacente	
Perto de	
Entre	
Paralelo a	
Sobre	

LINHA / PONTO	
Disjunto	
Toca/ Adjacente	
Perto de	
Sobre	
Acima/ Abaixo	

LINHA / POLÍGONO	
Disjunto	
Adjacente	
Perto de	
Dentro de	
Acima/ Abaixo	
Cruza	
Atravessa	
Em frente a	
Toca	

PONTO/POLÍGONO	
Disjunto	
Adjacente / Toca	
Perto de	
Dentro de	
Acima/ Abaixo	
Em frente a	

PONTO/PONTO	
Disjunto	
Adjacente / Toca	
Perto de	
Coincidente	
Acima/ Abaixo	
Em frente a	

Figura 16– Relacionamentos Espaciais

Os relacionamentos são caracterizados pela **cardinalidade**. A cardinalidade representa o número de instâncias de uma classe que pode estar associadas a uma instância da outra classe. A notação de cardinalidade adotada pelo modelo OMT-G é a utilizada na *Unified Modeling Language* (UML) [Rati97] (Figura 17).

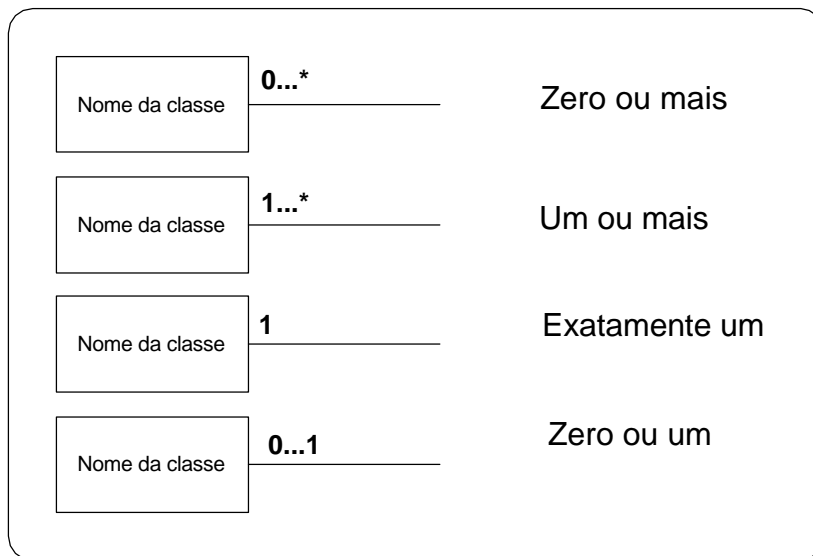


Figura 17 –Cardinalidade

As relações em *rede* já trazem incorporadas em seu significado a sua cardinalidade, não sendo portanto necessário explicitá-la.

2.2.4 Generalização e Especialização

A generalização é o processo de definir classes mais genéricas (superclasses) a partir de classes com características semelhantes (subclasses). Já a especialização é o processo inverso, classes mais específicas são detalhadas a partir de classes genéricas, adicionando-se novas propriedades na forma de atributos [Lisb97]. Cada subclasse herda atributos, operações e associações da superclasse.

No modelo OMT-G, as abstrações de generalização e especialização se aplicam tanto a *Classes Georreferenciadas* como a *Classes Convencionais*, seguindo a definição e a notação do diagrama de classe da UML, onde um triângulo interliga uma superclasse à suas subclasses. (Figura 18). Cada generalização pode ter um *discriminador* associado, indicando qual propriedade está sendo abstraída pelo relacionamento de generalização.

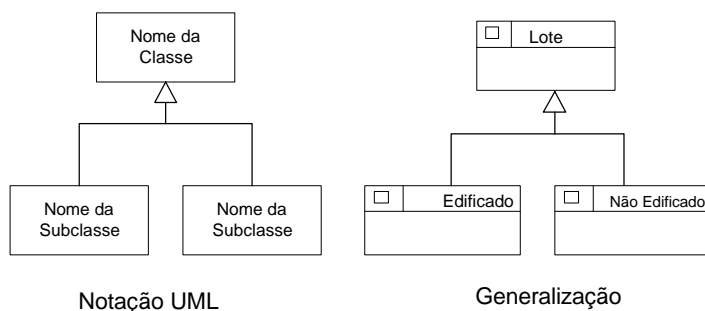


Figura 18 – Generalização/Especialização

No exemplo da Figura 18 temos a especialização de um lote em lote edificado e lote não edificado. Uma generalização pode ser especificada como *total* ou *parcial* [LaF94]. Uma generalização é total quando a união de todas as instâncias das subclasses equivalem ao conjunto de instâncias da superclasse. A totalidade é representada por um ponto no ápice do triângulo (Figura 19).

O triângulo vazado representa a restrição de disjunção, e o triângulo com preenchimento indica a sobreposição de subclasses. A combinação de disjunção e totalidade representa quatro tipos de restrição. Normalmente, uma generalização é total e disjunta, já que a superclasse é o resultado da união de subclasses disjuntas. O mesmo não pode ser dito da especialização, que permite que instâncias da superclasse possam ou não existir nas subclasses.

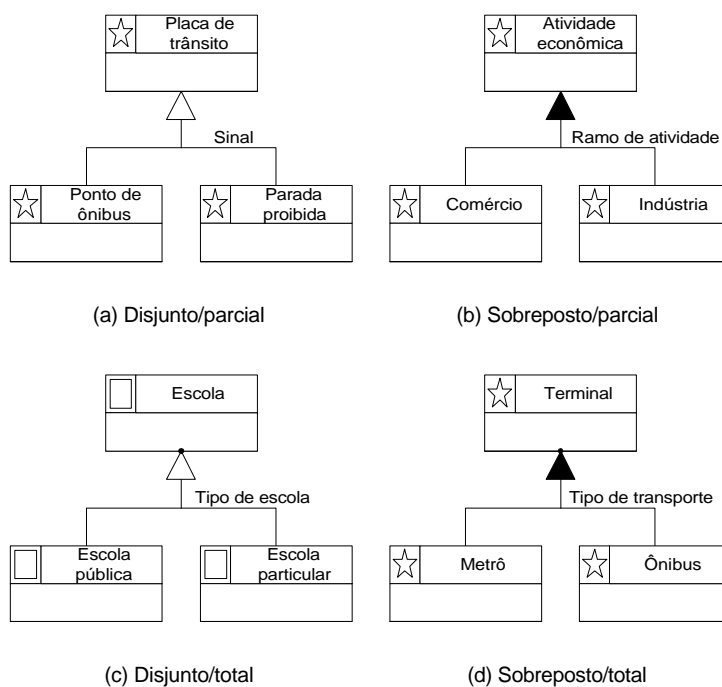


Figura 19 – Generalização/Especialização

A Figura 20 mostra o exemplo de uma *generalização disjunta* e *total* do nó de uma rede fluvial. Ele é especializado em estação fluviométrica, usina hidrelétrica e confluência. Cada nó poderá ter uma representação simbólica diferente. A Figura 20a mostra o nó da rede fluvial com a especialização, e a Figura 20b substituiu o pictograma padrão que representa nó de rede (forma de representação), pelo símbolo real (forma de apresentação) que este nó assumirá no banco de dados geográfico. A indicação de **total** mostra que o nó deverá assumir uma das três formas (estação fluviométrica, usina hidrelétrica e confluência) não existindo nenhum outro tipo de nó fluvial além dos especificados. A indicação de **disjunta** indica que um nó só poderá assumir um tipo por vez ou seja, não poderá ser usina hidrelétrica e confluência ao mesmo tempo.

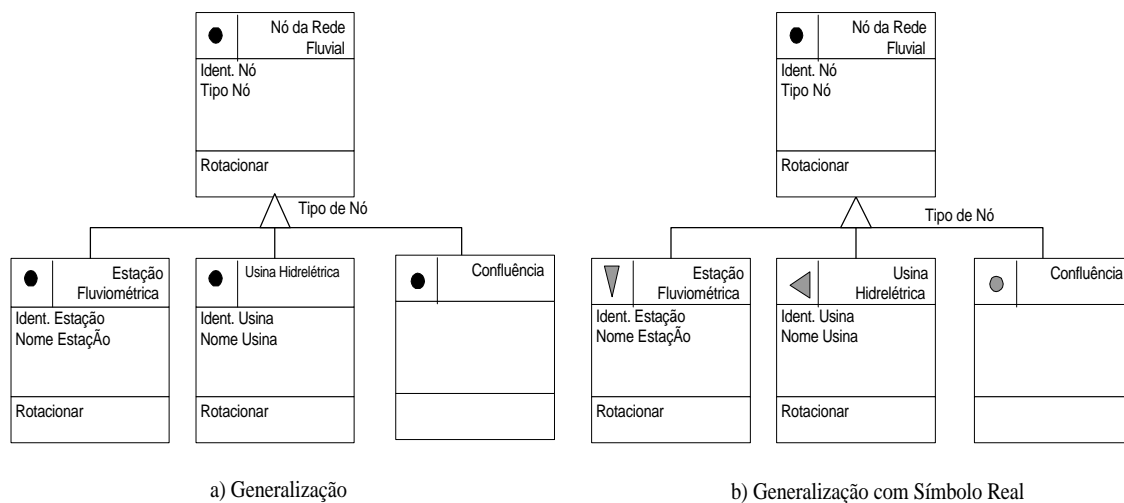


Figura 20 - Generalização do Nó da Rede Fluvial

2.2.5 Agregação

A agregação é uma forma especial de associação entre objetos, onde um deles é considerado composto por outros. O relacionamento entre o objeto primitivo e seus agregados é chamado de “é-parte-de” e o relacionamento inverso “é-componente-de” [ElNa94]. A notação gráfica da agregação segue a da UML (Figura 21).

Seguindo o padrão apresentado, quando a agregação for entre Classes *Georreferenciadas*, a linha que representa a associação deve ser pontilhada. Uma agregação pode ocorrer entre Classes *Convencionais*, entre Classes *Georreferenciadas* e entre Classes *Georreferenciadas* e Classes *Convencionais*.

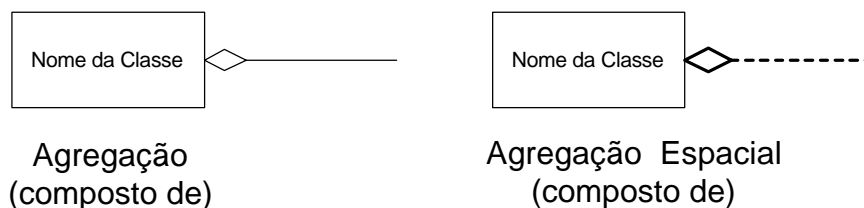


Figura 21 – Notação Gráfica Agregação

A Figura 22 exemplifica o uso desta notação. No exemplo, o logradouro é uma agregação de trechos de logradouro. Se o logradouro existir geograficamente a partir da junção de trechos, como uma única linha, ele será uma agregação entre Classes *Georreferenciadas*. No entanto, se o logradouro não for representado graficamente, representando só o cadastro de logradouros, ele será uma agregação entre uma Classe

Convencional e uma Classe *Georreferenciada*. Neste caso, a visualização do Logradouro deverá ser feita através dos trechos.

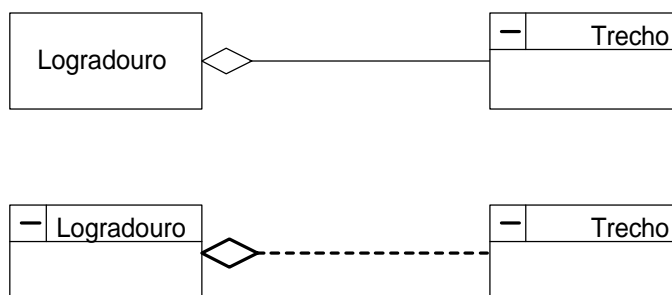


Figura 22– Exemplo de Agregação

A *agregação espacial* “todo-parte” é um caso especial de agregação onde são explicitados relacionamentos topológicos “todo-parte” [KöPS96, KöPS95, AbCa94].

A utilização desse tipo de agregação impõe restrições de integridade espacial no que diz respeito à existência do objeto agregado e dos sub-objetos. Além do modelo ganhar mais clareza e expressividade, a observação dessas regras contribui para a manutenção da integridade semântica do banco de dados geográfico. Muitos erros no processo de entrada de dados podem ser evitados, se procedimentos baseados nessas restrições forem implementados.

2.2.6 Generalização Conceitual

A *generalização*⁴ 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 aumentar a facilidade de compreensão dos dados por parte do usuário do mapa.. Por exemplo, “uma entidade geográfica pode ter diversas representações espaciais conforme a escala utilizada. Uma cidade pode ser representada por um ponto num mapa de escala pequena e por um polígono num mapa de escala grande” [MeBo96]. Este tipo de mudança na representação cartográfica é chamado de generalização e está relacionado com a representação gráfica.

No entanto, além do apresentado acima, o que se percebe no desenvolvimento de aplicações geográficas, principalmente em áreas urbanas, é que de acordo com a visão do usuário é necessário que formas distintas representem a mesma entidade geográfica, em uma mesma escala e ao mesmo tempo. Dentro da orientação a objetos, este conceito é naturalmente entendido e representado. O objeto geográfico representado é o mesmo, com os atributos alfanuméricos comuns, porém variando as características geográficas.

⁴ Não se deve confundir a generalização cartográfica com a generalização utilizada como um tipo de abstração usado nos modelos de dados semânticos e orientados a objetos [ElNa94].

Podemos exemplificar esta colocação tomando como exemplo o sistema de informação geográfica da Prefeitura de Belo Horizonte, onde o ambiente geográfico deve ser compartilhado por diversos órgãos e por diversos tipos de aplicações. Para a Secretaria de Turismo, a localização de pontos turísticos é feita através de símbolos que, distribuídos pela cidade, identificam os locais turísticos. No entanto, muitos locais turísticos são referências da cidade, sendo utilizados para localização de ponto de ônibus “mais próximo” na aplicação de transporte coletivo. Se a aplicação *próximo a*, fosse levar em conta apenas a localização dos símbolos turísticos para efetivar sua consulta, o estádio de futebol Mineirão, que tem o seu símbolo no meio do campo de futebol, estaria longe de qualquer ponto de ônibus. Dentro do ponto de vista de proximidade, as referências utilizadas são transformadas em polígonos que envolvem a área referenciada. Em termos do modelo conceitual, tanto o símbolo de turismo quanto a área que envolve o Mineirão representam o mesmo objeto, devendo por isto estar explicitamente demonstrado no esquema da aplicação. Existe ainda a possibilidade da representação fotográfica do símbolo turístico. Neste caso, teremos três formas de visualizar o mesmo objeto.

Para que fosse possível explicitar os dois casos apresentados acima, o modelo OMT-G utiliza a primitiva espacial chamada de *Generalização Conceitual*⁵ representando uma classe (superclasse) que é percebida por diferentes visões, que *alteram* a sua natureza gráfica. As subclasses possuem formas geométricas que as diferem da superclasse porém, herdam os atributos alfanuméricos.

A *generalização conceitual* pode ser de dois tipos: *variação pela forma* e *variação por escala*. A *variação pela forma* é utilizada na representação da convivência simultânea das múltiplas formas geométricas de uma mesma classe, dentro de uma mesma escala. A descrição geométrica da superclasse é deduzida a partir do uso das subclasses. Por exemplo, um rio pode ser percebido como um espaço entre suas margens, como um polígono de água ou como um fluxo (linha direcionada), formando a rede hidrográfica (Figura 23 e Figura 24).

⁵ Originalmente, o modelo OMT-G [BORG97] denominava esta primitiva de generalização cartográfica. Para melhor caracterizar a separação entre múltiplas representações e problemas específicos de cartografia automatizada, a denominação original foi substituída por generalização conceitual.

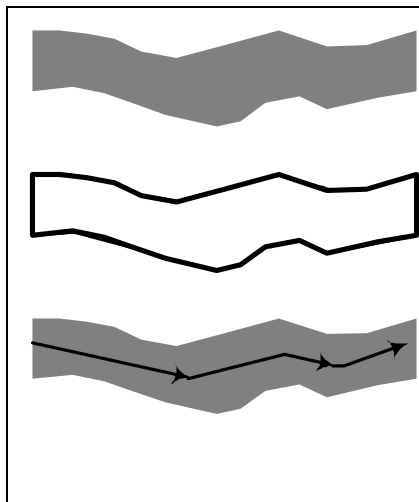
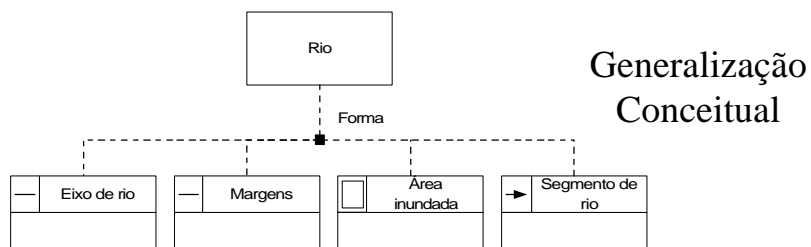
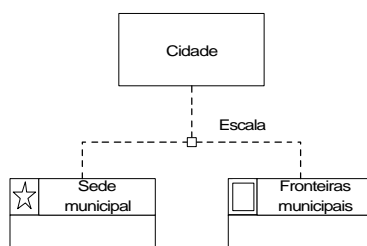


Figura 23 – Diferentes Visões de um Rio

A *variação pela forma* pode ser também usada na representação de classes que possuem simultaneamente instâncias georreferenciadas e instâncias não gráficas, como, por exemplo uma placa de sinalização de trânsito que só passará a ser georreferenciada quando sair do depósito para fixação na rua.



(a) Variação de acordo com a forma (sobreposto)



(b) Variação de acordo com a escala (disjunto)

Figura 24 - Generalização Conceitual – Variação pela Forma

A *variação por escala* é utilizada na representação das diferentes formas geométricas de representação de uma mesma classe decorrente da mudança de escala. Uma escola pode ser representada por uma área (polígono) em uma escala maior e por um símbolo (ponto) em uma escala menor (Figura 25).

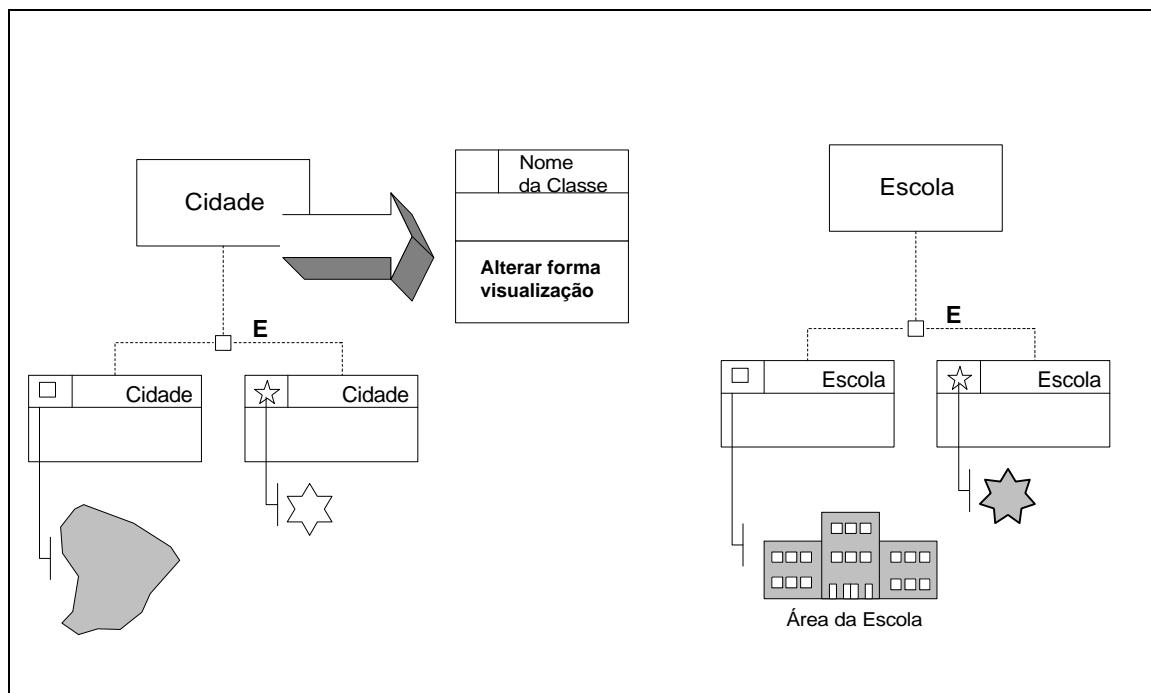


Figura 25 – Generalização Conceitual - Variação por Escala

A primitiva *generalização conceitual* é um caso particular da *generalização*, não representando classes que, por motivos de melhor visualização em diferentes escalas, mantêm sua natureza gráfica original porém, variam de tamanho, espessura de traço ou tipo de símbolo. Essa variação **somente** de representação, e não da forma geométrica, é vista no modelo OMT-G como uma **operação** aplicada à classe, com função de alterar a visualização. O exemplo na Figura 26 mostra o símbolo de uma árvore variando com a escala. À medida que a escala diminui o símbolo aumenta. Apesar da escala variar, o tipo geométrico continua sendo ponto portanto, não será modelado como *generalização conceitual*.

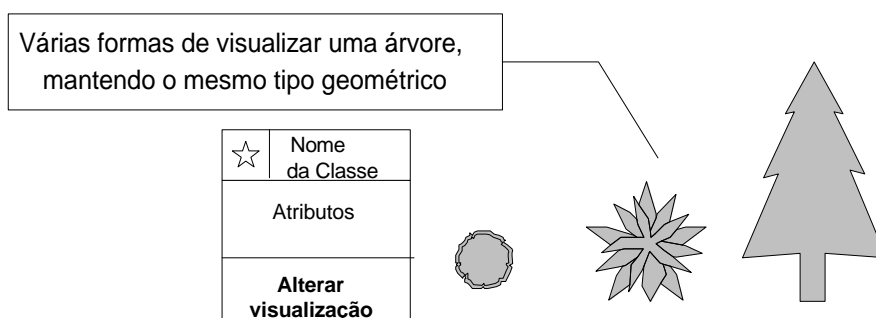


Figura 26 – Variação de Visualização de um Símbolo

O objetivo do uso desta primitiva é registrar as múltiplas naturezas gráficas de representação que um objeto pode ter, de forma a tornar possível **explicitar** os relacionamentos decorrentes de **cada** natureza. Conforme visto, a forma com que uma classe é representada influencia nos tipos de relacionamento espacial que dela podem ser derivados.

A notação para *generalização conceitual* é um quadrado interligando uma superclasse à suas subclasses. A subclasse é ligada por uma linha pontilhada ao retângulo. É usado como *discriminador* a letra E para *variação por escala* e a letra F para *variação pela forma*. O quadrado será vazado para representar a restrição de disjunção, e preenchido indicando a sobreposição de subclasses (Figura 27).

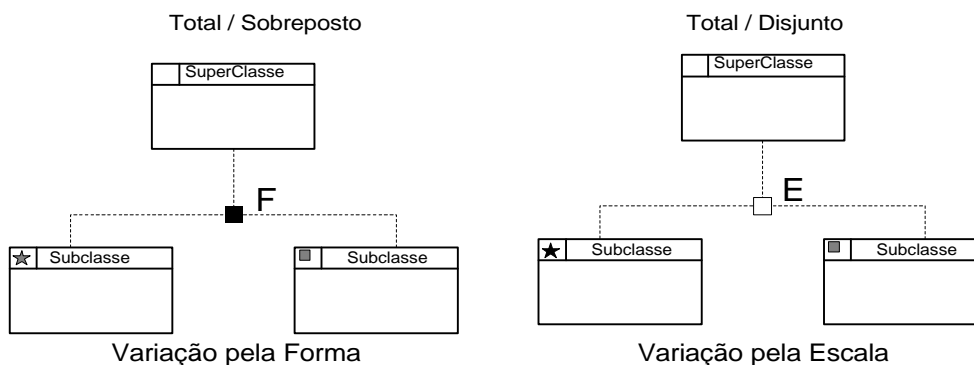


Figura 27 - Generalização Conceitual

A *variação por escala* será sempre *total* e *disjunta*, porque a união de todas as instâncias das subclasses deve ser equivalente ao conjunto de instâncias da superclasse, não sendo permitida sobreposição. Neste caso, uma entidade geográfica, dependendo da escala, pode ter formas alternativas de representação porém, não ao mesmo tempo.

Apesar de conceitualmente a entidade geográfica ser a mesma, as subclasses serão implementadas como classes distintas, devido a restrições impostas pela maioria dos SIGs hoje existentes que não permitem que uma classe possa simultaneamente ser representada por naturezas gráficas diferentes. Alguns dos problemas decorrentes de

múltiplas representações em um SIG são redundância de dados e multiplicidade de comportamento de uma entidade geográfica [CCHM96].

2.2.7 Restrições Espaciais

Muitas aplicações geográficas usam dados que dependem de relacionamentos topológicos que precisam ser representados explicitamente no banco de dados. Nesses casos, cuidados especiais devem ser tomados para que a consistência espacial seja mantida. Esses cuidados interferem não só na entrada de dados geográficos como também na manutenção da integridade semântica do banco de dados.

O controle das restrições de integridade deve ser considerado uma das principais atividades de implementação. É conveniente que o esquema da aplicação geográfica represente pelo menos as situações onde esse controle não pode ser desprezado.

Consideramos nesta seção somente as restrições relacionadas aos relacionamentos espaciais. Restrições que envolvem valores de atributos ou restrições de cardinalidade já são de uso comum em projetos de banco de dados não sendo considerado necessário citá-las. Não consideramos também restrições que envolvem a geometria do objeto, como por exemplo as restrições impostas na descrição geométrica de um polígono: deve ser composto por no mínimo três segmentos e possuir a mesma coordenada nos pontos inicial e final, garantindo o fechamento do polígono. Restrições geométricas devem ser tratadas a nível do sistema de informação geográfica, pois estão estritamente relacionadas com a implementação. Em [LaTh92] encontramos regras de consistência associadas à geometria dos objetos espaciais.

A partir da criação das primitivas espaciais “todo-parte”, como de alguns relacionamentos espaciais padronizados, são deduzidas algumas regras de integridade espacial. Essas regras formam um conjunto de restrições que devem ser observadas nas operações de atualização do banco de dados geográfico.

As restrições espaciais consideradas no modelo OMT-G são as seguintes:

Regras de Dependência Espacial - São impostas restrições pela existência de objetos agregados, onde a existência gráfica do objeto agregado depende da existência gráfica dos sub-objetos e vice-versa. Essas regras são derivadas da primitiva *Agregação espacial*.

- *Regras de Continência* - São impostas restrições pela existência de objetos contidos dentro da estrutura geométrica de outro. Essas regras são derivadas da primitiva espacial *Contém*.
- *Regra de Disjunção* - É uma restrição aplicada às classes que não podem, de forma alguma, ter algum tipo de relacionamento espacial.
- *Regras de Conectividade* - São impostas restrições para garantir a existência de conectividade entre os objetos.
- *Regras de Geo-Campo* - São impostas restrições à existência de classes do tipo *Geo-Campo*.

O cumprimento de algumas regras de integridade espacial pode ser garantido pelo SIG. No entanto, a maioria requer a definição de operações de controle de integridade associadas às classes.

Usaremos os conceitos de classe primitiva e derivada, e de objeto primitivo e derivado, para descrever as regras de integridade espacial relacionadas com as primitivas espaciais “todo-parte”. Classe primitiva é a classe que dará origem a outras classes, chamadas de derivadas. Um objeto primitivo, é uma instância da classe primitiva. Um objeto derivado é uma instância da classe derivada originado de um objeto primitivo. A seguir são especificadas as regras de integridade espacial.

Para exemplificar o uso das regras de dependência espacial, citamos a classe Quadra que é uma agregação espacial da classe Lote. Na criação e manutenção de cada instância da classe Lote, deve ser garantido que cada instância da classe Lote só pertença a uma instância da classe Quadra. Cada lote deve ser adjacente a outro, não havendo sobreposição de áreas e nem espaço dentro da quadra que não pertença a um lote (regra 2). A delimitação dos lotes deve estar totalmente contida dentro do limite da quadra, podendo coincidir com ele mas não extrapolá-lo (regra 3). Caso a quadra sofra alteração em seus limites, diminuindo ou aumentando sua área, isso afetará a área dos lotes dentro dela (regra 4). Deve ser verificado quais lotes sofrerão alteração em seus limites. Caso o limite de um lote seja alterado, sem que o da quadra tenha sido alterado, alguns ou todos os lotes adjacentes a ele também serão afetados (regra 5). A exclusão de uma quadra implica na exclusão de todos os lotes dentro dela (regra 6).

Regras de Continência

<p>Contém</p> <p>Objetos contidos dentro da estrutura geométrica de outro.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. A geometria do objeto que <u>contém</u> deve conter a geometria dos objetos contidos. 2. O limite do objeto contido não pode extrapolar o limite do objeto que contém. 3. Qualquer objeto contido só deve pertencer a uma única instância dentro de determinada classe. Outras classes poderão conter os mesmos objetos porém para cada classe o objeto só estará contido em apenas uma instância.
---	---

Exemplificando o uso das regras de continência, citamos a classe Bairro que contém a classe Quadra. Na delimitação do limite do bairro deve ser observado que seu limite não deve atravessar uma quadra. Todo o limite da quadra deve estar totalmente contido no limite de um bairro. Não deve existir quadra sem estar dentro de um bairro e nem pertencendo a mais de um bairro.

Regra de Disjunção

1. A interseção entre a geometria dos objetos pertencentes à classes disjuntas deve ser vazia.

A regra de disjunção é importante na manutenção da integridade em relação à entrada de dados. Por exemplo, a classe Trecho é disjunta da classe Edificação. Isso implica que não pode existir nenhum trecho que cruze uma edificação. Caso isso seja necessário, a edificação (instância) deve primeiro ser excluída. A operação de criação de trecho e edificação poderá garantir essa regra.

Regras de GeoCampo

Isolinha	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uma isolinha não pode interceptar outra isolinha 2. Uma isolinha deve ser contínua
Tesselação	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualquer ponto do espaço geográfico deve pertencer a uma e somente uma célula de cada classe do tipo tesselação.
Subdivisão Planar	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualquer ponto do espaço geográfico deve pertencer a uma e somente uma instância de uma classe do tipo polígono adjacente. 2. As instâncias desta classe devem ser todas adjacentes, não devendo existir nenhum espaço vazio.
Rede Triangular Irregular	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualquer ponto do espaço geográfico deve pertencer a um triângulo da rede de triangulação. 2. Não existe sobreposição de instâncias destas classes. Cada objeto ocupa uma única posição no espaço, não havendo sobreposição.
Amostragem	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não existe sobreposição de instâncias de uma mesma classe do tipo amostragem.

Regras de Associação Espacial

Proximidade	<ol style="list-style-type: none"> 1. As relações de proximidade são consideradas relações <i>fuzzy</i> devendo portanto, ter parâmetros que forneçam o que é considerado perto ou longe.
Dentro de	<ol style="list-style-type: none"> 1. A instância que contém deve ser sempre uma área, podendo ser um polígono ou uma célula.

Regras de Conectividade

Estrutura grafo-nó	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todo nó deverá estar conectado a pelo menos um segmento orientado. 2. Todo segmento orientado intermediário estará conectado a dois nós. 3. Os segmentos orientados inicial e final começam e terminam em um nó.
Estrutura grafo-grafo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todo segmento orientado intermediário estará conectado a dois outros segmentos orientados de uma mesma classe, um posterior e um anterior. 2. Os segmentos orientados inicial e final devem estar conectados a um segmento orientado posterior e um anterior, respectivamente. Todos de uma mesma classe.

As regras de conectividade normalmente são garantidas pelo próprio SIG. No caso da rede de esgoto, que é uma estrutura em grafo-nó, a conexão entre o nó e o segmento é garantida automaticamente pelo sistema.

2.2.8 Diagrama de Temas

O modelo OMT-G adota o conceito de temas (assuntos) e não o de camada ou *layers* presentes em muitos outros modelos. No nível conceitual, um tema agrega classes de mesmas características, no entanto, uma mesma classe pode ter característica comum com outros temas. Citamos, por exemplo, o caso de Parques que podem pertencer tanto ao tema “Meio-Ambiente”, como ao tema “Esporte e Lazer”. A transcrição de um tema para as camadas lógicas (*layers*) normalmente dará origem a mais de uma camada. Por exemplo, o tema hidrografia é composto pelas seguintes classes: Rio, Lago, Bacia Hidrográfica, Sub-bacia Hidrográfica. Normalmente cada classe será uma camada. No entanto, isto dependerá do SIG utilizado e dos objetivos da aplicação.

Aplicações geográficas normalmente envolvem uma quantidade muito grande de temas principalmente em área urbana que envolve temas referentes a estrutura urbana, saúde, educação, zoneamento, controle de trânsito, uso do solo, hidrografia, saneamento, energia, telefonia, entre outros. As aplicações geográficas para uma prefeitura geralmente envolvem todos esses temas e, dentro de cada tema, um grande número de classes.

O modelo OMT-G introduz o diagrama de temas como forma de visualizar os diversos níveis de informação envolvidos em uma aplicação geográfica, fornecendo um nível de abstração mais elevado. Ele é muito útil em projetos de grande dimensão fornecendo uma visão global de todo o ambiente da aplicação auxiliando na compreensão da abrangência do projeto georreferenciado. O uso de temas auxilia na subdivisão da modelagem em partes.

No esquema da aplicação, a notação utilizada para representar um tema consiste em englobar, com um polígono pontilhado, as classes pertencentes a um mesmo tema. Dentro do polígono deverá constar o nome que identifica o tema. Note que algumas classes apresentarão sobreposição de temas sendo esta visualização muito importante pois é um indicativo de que a classe é compartilhada por usuários distintos.

O diagrama de temas deve começar com o tema que identifica o espaço modelado e a partir dele uma hierarquia é desenvolvida, dos temas mais abrangentes aos temas específicos. O termo abrangente significa abrangência geográfica, como se fossem camadas no sentido geográfico de distribuição sobre a terra, onde ao mesmo tempo coexistem vários temas de igual importância. Os temas nos níveis inferiores do diagrama necessitam da existência de pelo menos alguns dos temas que estão nos níveis superiores. Cada tema é representado por um retângulo contendo seu nome. A ligação hierárquica entre os temas é feita através de uma linha contínua. A Figura 28 mostra a notação utilizada em um exemplo de temas do município de Belo Horizonte. A Figura 29 mostra parte de um esquema da aplicação de circulação viária onde estão presentes os temas Trânsito e Sistema Viário.

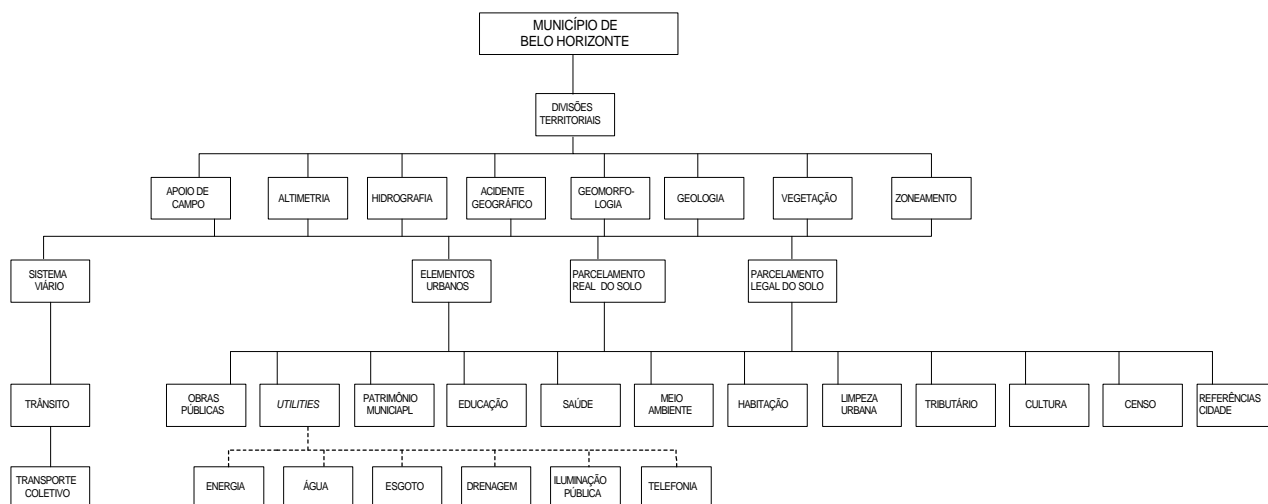


Figura 28 – Diagrama de Temas

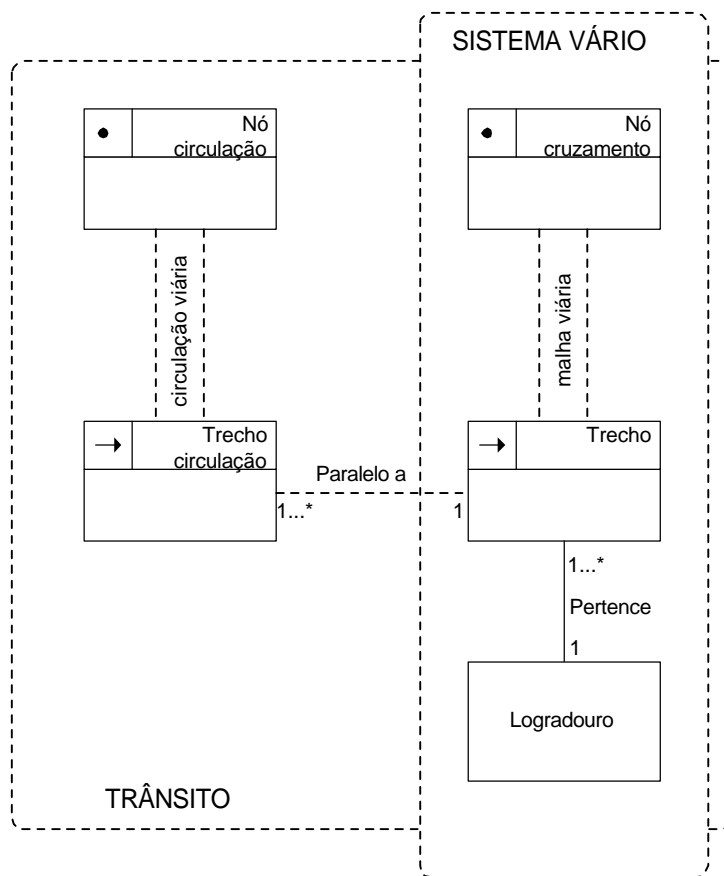


Figura 29 – Parte do Esquema da Aplicação de Circulação Viária

2.3 Exemplos de aplicações utilizando o Modelo OMT-G

2.3.1 Transporte Público e Trânsito

O espaço geográfico modelado corresponde ao município de Belo Horizonte. O município é subdividido em vinte e duas regiões denominadas setores. Cada quadra só pertence a um setor. As quadras são subdivididas em lotes. Cada lote é representado tanto pela sua delimitação quanto pela sua frente (testada do lote). Cada testada de lote dá frente para um ou mais logradouros.

A malha viária é representada por segmentos de logradouro, denominados trechos. Um segmento de logradouro é a parte do logradouro compreendida entre dois cruzamentos. A conexão dos segmentos forma uma rede de logradouros (malha viária), onde o sentido da rede acompanha o sentido de crescimento da numeração. De acordo com a classificação viária, os trechos de logradouro podem ser trechos de via coletora, via local, via arterial ou via de ligação regional. Os trechos são associados ao cadastro de logradouros, onde estão todos os atributos referentes ao logradouro como nome, apelido, etc. Os trechos são dispostos no centro da área compreendida pelos meio-fios, identificando o centro do logradouro.

A circulação viária é uma rede que fornece o sentido de tráfego. É formada por segmentos orientados e nós de circulação. Os nós identificam a mudança de direção. Os trechos da circulação viária são paralelos aos trechos de logradouro respeitando a direção de mão e contra-mão.

O itinerário de ônibus tem uma relação estreita com a circulação viária. Uma mudança no sentido de tráfego implica numa mudança nos itinerários que passam por ali. O itinerário de ônibus é formado pelos trechos do itinerário, que são compreendidos pelos pontos de parada e cruzamentos. A cada ponto de parada (nó da rede) corresponde uma placa de sinalização, identificando, na calçada, um ponto de ônibus. A placa de ponto de ônibus faz parte da sinalização vertical de trânsito. Para cada placa de ponto de ônibus, existe a informação de todas as linhas que param naquele ponto. Algumas linhas possuem mais de um itinerário, que varia com o horário e dia da semana. Para controle dos diferentes itinerários existentes em algumas linhas de ônibus, cada linha foi subdividida em sublinhas, onde cada sublinha representa um itinerário. Cada placa de parada de ônibus está associada a um endereço ao qual ela dá frente. A Figura 30 mostra um detalhe da tela referente à aplicação de itinerário de ônibus. As linhas direcionadas representam os trechos de um itinerário de ônibus, a placa na calçada representa o ponto de ônibus e o ponto de parada (nó da rede) é representado por um símbolo na sequência da linha do trecho. A Figura 31 exemplifica a circulação viária e a Figura 32 mostra o esquema da aplicação de transporte coletivo. Nele foi usada a notação simplificada do Modelo OMT-G.

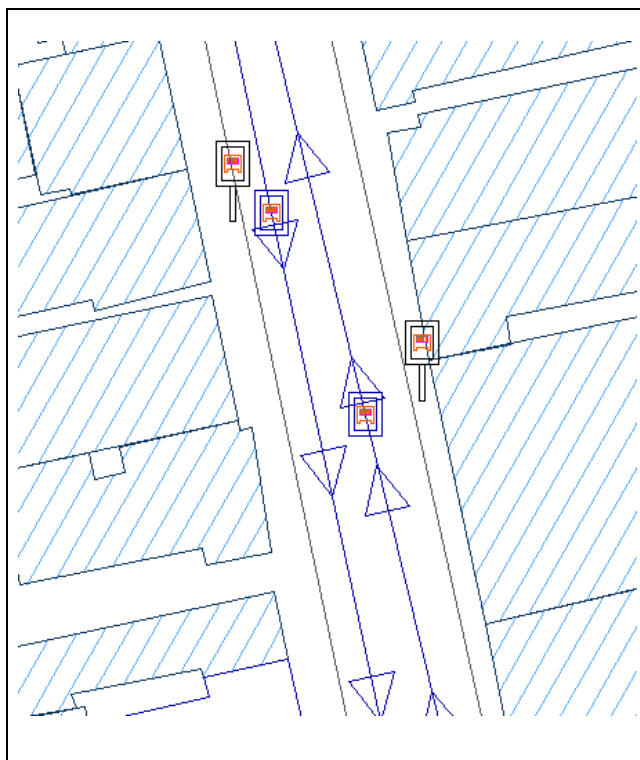


Figura 30 – Rede do Itinerário de Ônibus

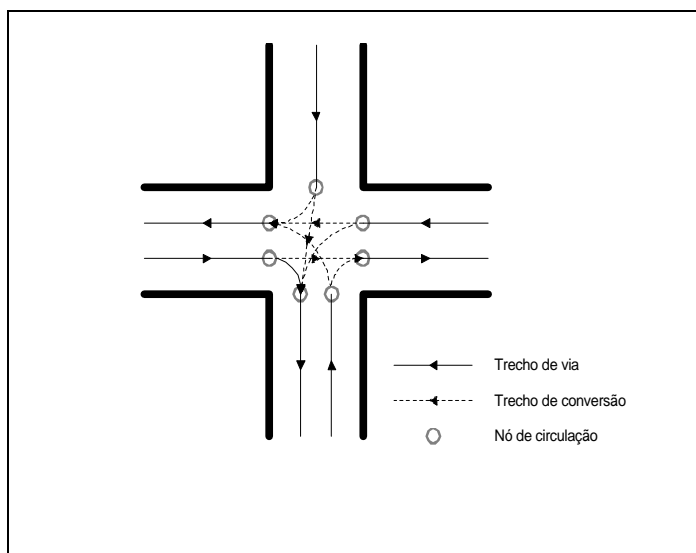
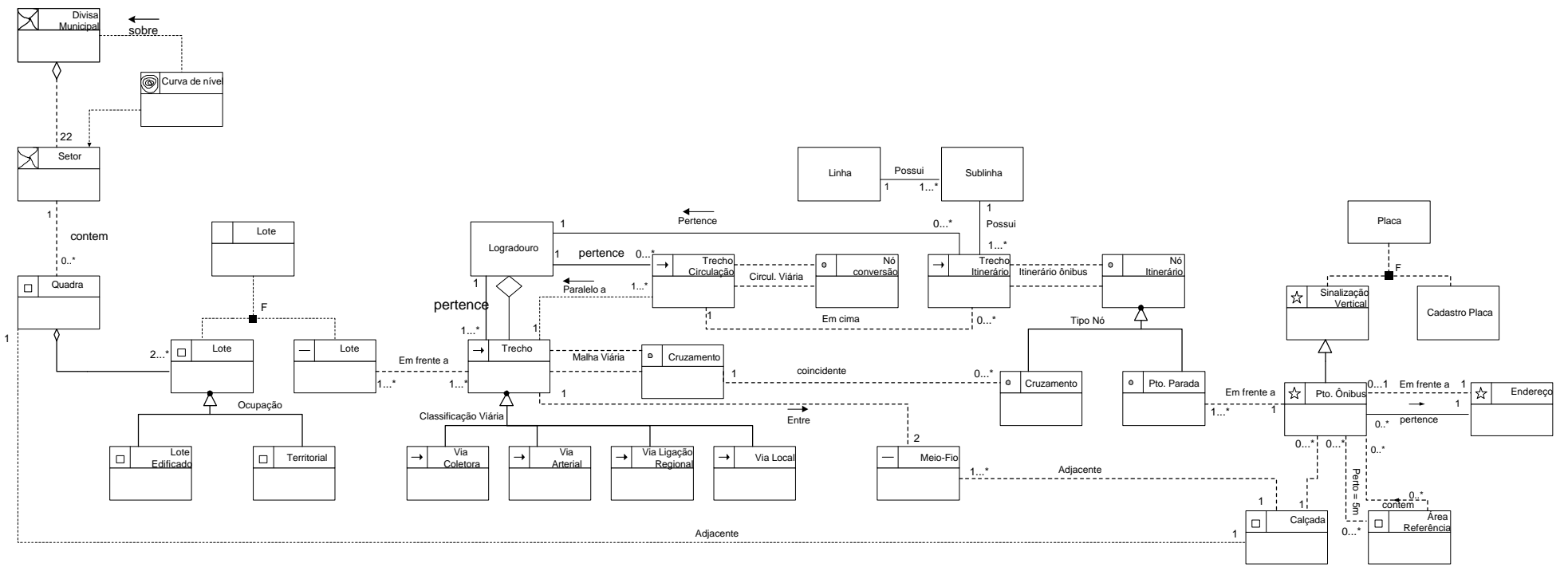


Figura 31 – Exemplo de Cruzamento na Circulação Viária

Figura 32- Esquema da Aplicação de Transporte Coletivo



2.3.2 Rede de Esgoto

O município é subdividido em bacias de esgoto que por sua vez se divide em sub-bacias. Cada sub-bacia abrange um conjunto de trechos de rede. A rede de esgoto sanitário é classificada em rede coletora, interceptora e emissária de acordo com a sua função. A rede coletora é a de diâmetro menor, recebe as ligações dos usuários. A rede interceptora recebe o fluxo das coletoras e a rede emissária recebe o fluxo das interceptoras para efetuar o lançamento da rede de esgoto.

Um trecho da rede é representado por dois nós e um arco. Os nós são interrupções no trecho devido a um poço de visita (PV), um poço de visita com ponta seca, um ponto de lançamento (em rede pluvial, em curso d'água), uma ligação do usuário, uma estação de tratamento ou o fim da rede (ponta seca). Os arcos são trechos de tubulação. Cada trecho possui informações do tipo de rede, diâmetro da tubulação, extensão do trecho, percentual de declividade e tipo de material (ferro, concreto, pvc). Cada nó possui o tipo, um número e quando PV a cota do fundo e a cota do tampão.

A bacia de esgoto possui uma numeração, um nome, a quantidade de população atendida e a vazão da bacia. As sub-bacias são numerada dentro do código da bacia a qual ela pertence possuindo nome, população atendida e vazão.

Os nós terão representação gráfica diferente assim como deverão ser graficamente diferente as redes emissárias, coletoras e interceptadoras.

A Figura 33 exemplifica um trecho de rede de esgoto e a Figura 34 mostra o esquema simplificado da rede de e utilizando o OMT-G.

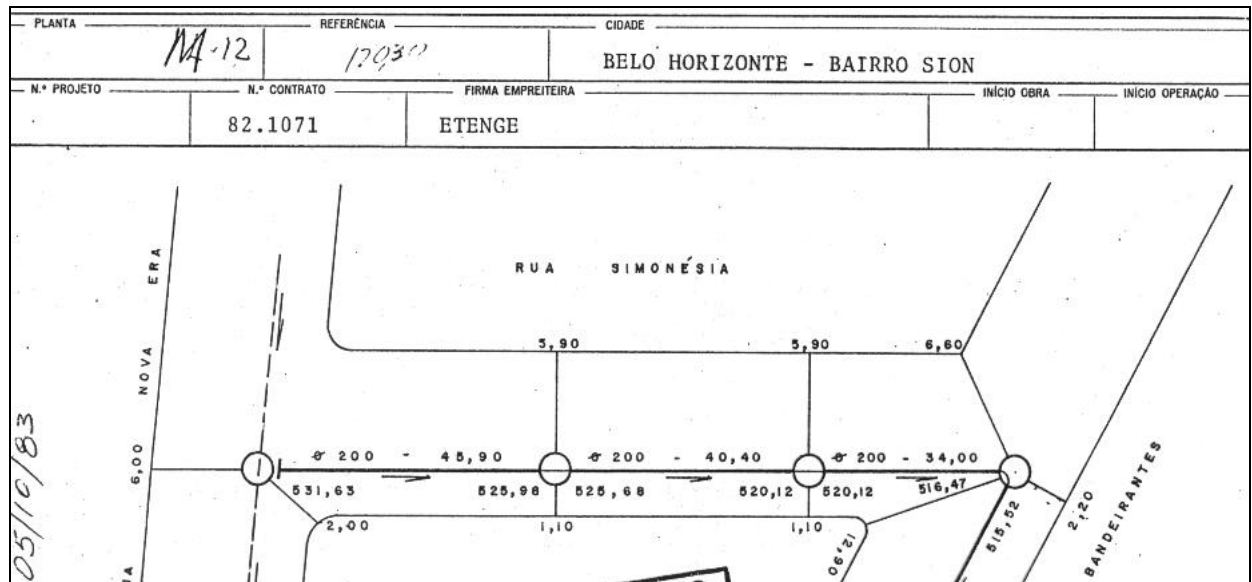


Figura 33 – Exemplo de Trecho da Rede de Esgoto

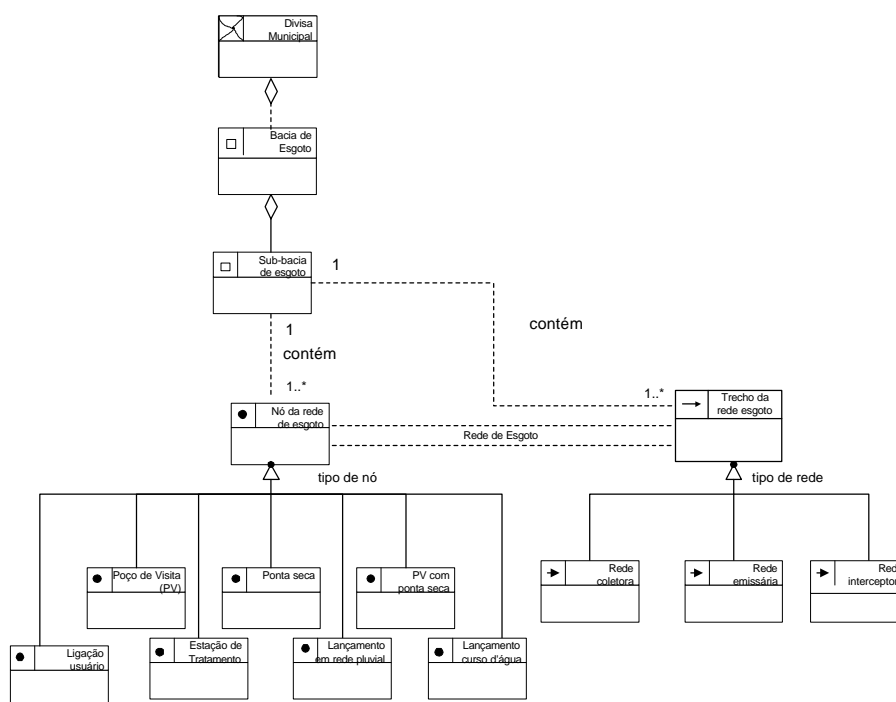


Figura 34 – Esquema Simplificado da Rede de Esgoto

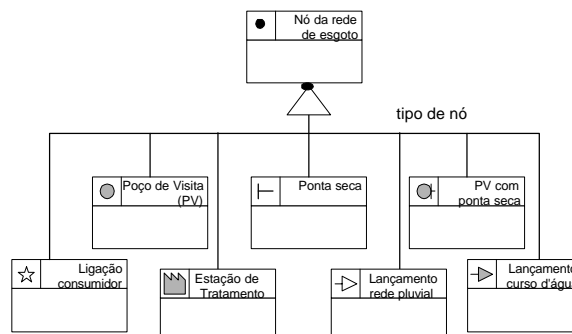


Figura 35– Substituição do símbolo padrão pelo símbolo real

2.3.3 Exercícios

Exercício 1

Uma área de concessão corresponde a uma área geográfica de atuação da Eletropaulo. A estrutura organizacional interna da empresa divide a área de concessão em uma ou mais áreas regionais, baseada em alguns requisitos tais como região de atuação, departamento,

divisão e seção em questão. Adicionalmente, é de grande interesse da empresa o armazenamento de informações relativas às áreas geográficas eletricamente isoladas entre si, as chamadas regiões elétricas.

Um município é uma área administrativa autônoma do Estado. No banco de dados do SIGRADE, para cada município são armazenadas informações tais como o nome, o código e a área total de ocupação. Em um município, existem diversas localidades técnicas, que são áreas geográficas definidas com o objetivo de atendimento técnico da rede elétrica e dos consumidores.

Outro elemento importante do modelo de dados do SIGRADE é a entidade divisa de lote. Uma divisa de lote representa a testada de um determinado lote em uma determinada quadra. Cada instância desta entidade possui informações relativas ao número do lote na rua, à descrição da divisa e à quadra à qual o lote está associado. Para cada divisa existe um único número associado. Em adição, para cada quadra são armazenadas as edificações de destaque nelas localizadas.

As divisas de lote são adjacentes aos eixos de logradouro. Um eixo de logradouro é uma porção definida entre dois cruzamentos consecutivos. Desta forma, um logradouro é formado por um ou mais eixos de logradouros e representa uma via pública. No banco de dados do sistema, para cada logradouro são armazenadas informações como código, o nome e o seu título, entre outras”. A Figura 36 apresenta o esquema do MUB feito no modelo OMT (*Object Modeling Technique*).

(Descrição do esquema do MUB (mapeamento Urbano) da Eletropaulo constante do artigo *Construção de um modelo unificado a partir de sistemas stand-alone* – Cristina Aguiar e Cláudia Bauzer Medeiros- Gis Brasil 96)

A partir da descrição acima e do esquema na Figura 36, avaliar a clareza do esquema quanto:

- existência de entidades gráficas e alfanuméricas
- tipo da entidade gráfica
- relacionamentos espaciais
- restrições de integridade espaciais

Gerar o esquema equivalente utilizando o OMT-G

Modelo Eletropaulo

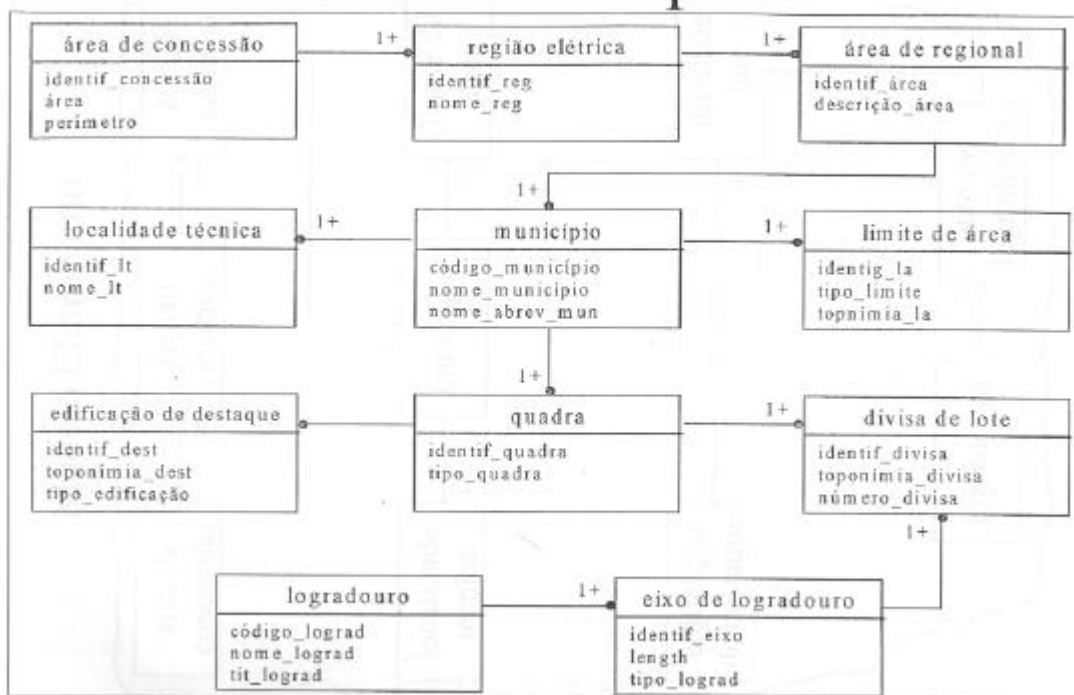


Figura 36 – Esquema do MUB

Exercício 2

O objetivo da aplicação é identificar os possíveis focos de Dengue dentro de município de Belo Horizonte.

Deverão ser identificados todos os lotes vagos, todas as borracharias, floriculturas e ferro velho. Todas as áreas verdes, córregos e rios também deverão ser identificados. Todas as notificações de Dengue, obtidas através da Secretaria de Saúde, deverão ser georreferenciadas pelo endereço do paciente.

O resultado será um mapa por distrito sanitário contendo as quadras com o total de lotes vagos, os casos de dengue registrados pontualmente, a localização das borracharias, floriculturas e ferro velhos, as áreas verdes, os rios e córregos.

O município é subdividido em Distritos Sanitário. Cada distrito possui uma identificação e é responsável pela área que ele abrange ou seja, cada quadra dentro do município pertence apenas a um Distrito Sanitário.

As atividades de borracharia, floricultura e ferro velho podem ser obtidas através do arquivo convencional de atividades pertencente ao Imposto Sobre Serviços (Atividades-ISS) e serão georreferenciadas pelo endereço (num. logradouro + num. imóvel).

Cada atividade após ser georreferenciada também estará relacionada com o arquivo convencional de contribuintes do Imposto Sobre Serviços (Contribuinte-ISS) onde estão armazenados os dados cadastrais do contribuinte que está exercendo a atividade.

Os lotes vagos poderão ser localizados no arquivo convencional de Imposto Predial e Territorial Urbano - IPTU. Como os lotes não estão fechados, não será possível localizar individualmente cada lote. No entanto, o seu georreferenciamento poderá ser feito pela Quadra onde está localizado o lote vago. A chave de identificação de uma Quadra é num. setor + num. quadra. No arquivo convencional de IPTU existe o campo cod.quadra (num.setor + num.quadra) o georreferenciamento deverá ser feito através desse campo.

Cada lote vago localizado estará associado ao arquivo convencional Imóvel IPTU para obtenção do proprietário do lote.

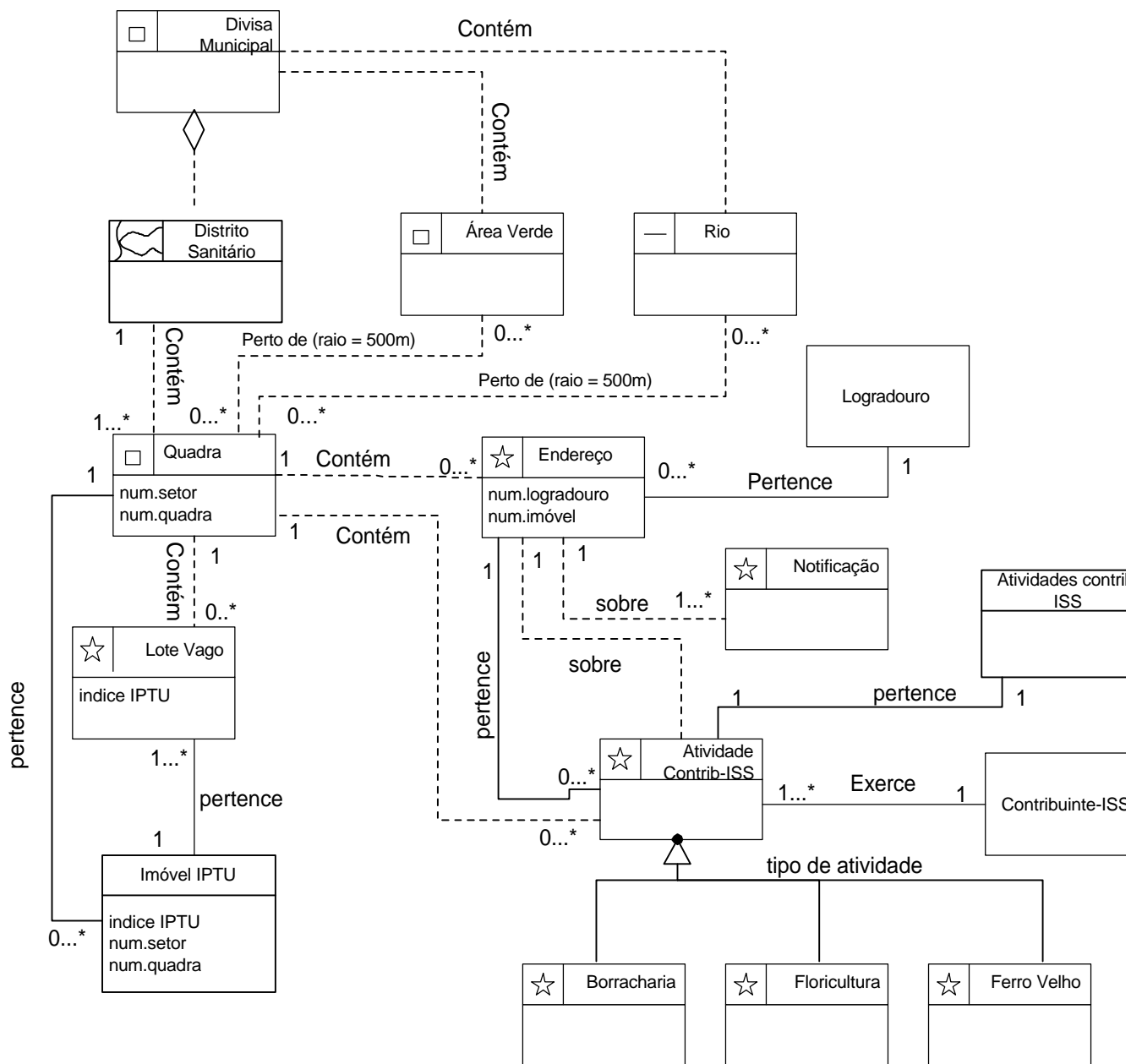
O Endereço é uma entidade gráfica simbólica localizado na base geográfica e será sobre ele que as atividades e notificações estarão localizadas. Ele representa o número de porta de cada edificação (num.logradouro + num.imóvel).

O número e nome do logradouro estão no arquivo convencional Logradouro. Este arquivo estará relacionado com o endereço e as notificações.

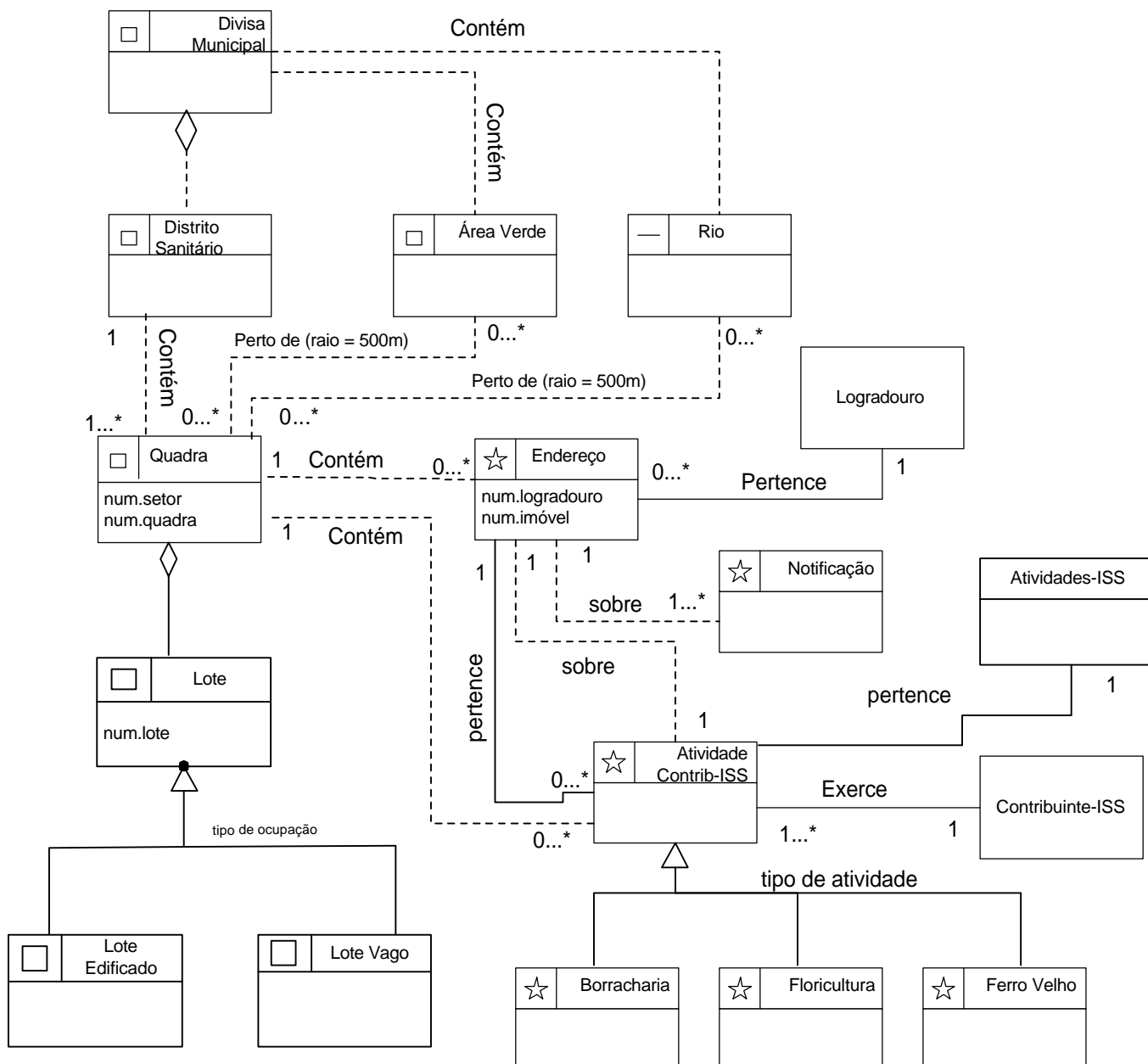
Analisar o problema apresentado e modelar a aplicação utilizando o modelo OMT-G.

Caso os lotes já estivessem fechados (polígonos) na base geográfica, qual seria a diferença no esquema feito anteriormente?

DENGUE 1



DENGUE 2



Referências Bibliográficas

- [AbCa94] ABRANTES, Graca, CARAPUCA, Rogerio. Explicit representation of data that depend on topological relationships and control over data consistency. In: FIFTH EUROPEAN CONFERENCE AND EXHIBITION ON GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS – EGIS/MARI'94, 1994. *Proceedings...v.1*,p.869-877.
(<http://www.wsgi.ursus.maine.edu/gisweb/egis/eg94100.html>)
- [AbHu87] ABITEBOUL, Serge, HULL, Richard. IFO: a formal semantic database model. *ACM Transactions on Database Systems*, v.12, n.4, p.525-565, 1987.
- [Abri74] ABRIAL, J. Data semantics. In: KLIMBIE, J., KOFFEMEN, K.(Eds.). *Data Base management*.North-Holland, amsterdam, 1974, p.1-59.
- [BaCN92] BATINI, C.,CERI, S., NAVATHE, S.B. *Conceptual database design: an entity relationship approach*. Redwood, CA: Benjamim Cummings, 1992.
- [BCMM96] BÉDARD, Y., CARON, C., MAAMAR, Z., MOULIN, B., VALLIÈRE, D. Adapting data models for the design of spatio-temporal databases. *Computers, Environment and Urban Systems*, London, v.20, n.1, p.19-41, 1996.
- [Benn96] BENNETT, David A. A framework for the integration of geographical information systems and modelbase management. *International Journal of Geographical Information Science*, London, v.11, n.4, p.337-357, 1997.
- [BePa89] BÉDARD, Yvan, PAQUETTE, François. Extending entity-relationship formalism for a spatial information systems. . In: 9th AUTOCARTO, 1989. *Proceedings...* p.818-828.
- [Bert67] BERTIN, Jaques. *Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris: Mounton et Gauthier-Villars, 1967. 431p.
- [BoFo96] BORGES, Karla A. V., FONSECA, Frederico T. Modelagem de dados geográficos em discussão. In: GIS BRASIL96, 1996, Curitiba. *Anais...* p.525-532.

- [Borg97] BORGES, Karla A. V. *Modelagem de dados geográficos –uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas*. Belo Horizonte, MG: ESCOLA DE GOVERNO DE MINAS GERAIS, Fundação João Pinheiro, 1997. (Dissertação de Mestrado).
- [BoDL00] 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.
- [Bote95] BOTELHO, Márcio A. *Incorporação de facilidades espaço-temporais em banco de dados orientados a objetos*. Campinas, SP: UNICAMP, 1995. (Dissertação de Mestrado).
- [Brod84] BRODIE, M. L. On the development of data models. In: BRODIE, M. L., MYLOPOULOS, J., SCHMIDT, J. W. (Eds.). *On conceptual modeling*. New York: Spring-Verlag, 1984. p.19-48.
- [BuJF95] BUNDY, G., JONES, C., FURSE, E. Holistic generalization of large-scale cartographic data. In: MÜLLER, J. C., LAGRANGE, J. P., WEIBEL, R. *GIS and generalization: methodology and practice*. GISDATA I, serie editors. Londres: Taylor & Francis, 1995. Cap.8, p.106-119.
- [Butt95] BUTTENFIELD, Barbara P. Object-oriented map generalization: modeling and cartographic considerations. In: MÜLLER, J. C., LAGRANGE, J. P., WEIBEL, R. *GIS and generalization: methodology and practice*. GISDATA I, serie editors. Londres: Taylor & Francis, 1995. Cap.7, p.91-105.
- [CaBe93] CARON, Claude, BÉDARD, Yvan. Extending the individual formalism for a more complete modeling of urban spatially referenced data. *Computers, Environment and Urban Systems*, London, v.17, p.337-346, 1993.
- [CCHM96] CÂMARA, G., CASANOVA, M., HEMERLY, A., MAGALHÃES, G., MEDEIROS, C. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 197p.
- [Cere96] CEREJA, Nevton. *Visões em sistemas de informações geográficas: modelos e mecanismos*. Campinas, SP: UNICAMP, 1996. (Dissertação de Mestrado).
- [CFSC94] CAMARA, G., FREITAS, U., SOUZA, R., CASANOVA, M., HEMERLY, A., MEDEIROS, C. A model to cultivate objects and manipulate fields. In: 2ND ACM WORKSHOP ON ADVANCES IN GIS, 1994, *Proceedings...*p.20-28.

- [Chen76] CHEN, P. The entity-relationship model - toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems*, v.1,n., p.9-36,1976.
- [ClFo93] CLEMENTINI, E., FELICE P., OOSTEROM, P. A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction. In: 3rd SYMPOSIUM SPATIAL DATABASE SYSTEMS, 1993, *Proceedings...*p.277-295.
- [DaBo94] DAVIS Jr., Clodoveu, BORGES, Karla A. V. Object-oriented GIS in practice. In: 32nd ANNUAL CONFERENCE OF THE URBAN AND REGIONAL INFORMATION SYSTEMS ASSOCIATION – URISA'94, Milwaukee, 1994. *Proceedings...* p.786-795.
- [Dang90] DANGERMOND, Jack. A classification of software components commonly used in Geographic Information Systems. In: MARBLE, Duane, PEUQUET, Donna. *Introductory readings in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis, 1990. p.30-51
- [Ditt86] DITTRICH, K. Object-oriented database systems: The notion and the issues. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON OBJECT-ORIENTED DATABASE, 1986, Pacific Grove, CA. *Proceedings...*IEEE, New York, p.2-4.
- [EgFr91] EGENHOFER, Max J., FRANZOSA, Robert D. Point-set topological spatial relations. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.5, n.2, p.161-174, 1991.
- [EgFr92] EGENHOFER, Max J., FRANK, Andrew U. Object-oriented modeling for GIS. *Journal of Urban and Regional Information Systems Associations*, Madison, v.4, n.2, p.3-19, Fall 1992.
- [EgHe90] EGENHOFER, Max J., HERRING, J. A mathematical framework for the definition of topological relationships. In: 4th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING, 1990. *Proceedings...*p.803-813.
- [EKFM90] EGENHOFER, M. J., KUHN, W., FRANK, A. U., McGRANAGHAN, M. *Addresses different aspects of formalizing human communication about geographic space*. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), 1990. Technical Report 90-13.
- [ElNa94] ELMASRI, R., NAVATHE, S. *Fundamental of database systems*. 2nd Edition. Menlo Park, CA: Addison-Wesley, 1994. 873p.
- [ElWH85] ELMASRI, R., WEELDREYER, J., HEVNER, A. The category concept: an extension to entity-relationship model. *International Journal on Data and Knowledge Engineering*, v.1, n.1, 1985.

- [Feut93] FEUTCHWANGER, M. *Towards a geographic semantic data model*. Simon Fraser University, 1993. (PhD thesis).
- [Fran92] FRANK, Andrew U. Spatial concepts, geometric data models, and geometric data structures. *Computers & Geoscience*, London, v.18, n.4, p.409-417, 1992.
- [Fran96] FRANK, Andrew U. Qualitative spatial reasoning: cardinal directions as an example. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.10, n.3, p.269-290, 1996.
- [Free75] FREEMAN, J. The modelling of spatial relations. *Computer Graphics and Image Processing*, n.4, p.156-171, 1975.
- [FrGo90] FRANK, Andrew U., GOODCHILD, Michael F. *Two perspectives on geographical data modeling*. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), 1990. Technical Report 90-11.
- [Gatr91] GATRELL, A. C. Concepts of space and geographical data. In: MAGUIRE, D. J., GOODCHILD, M. F., RHIND, D. W. *Geographical Information Systems: principles and applications*. Longman Scientific & Technical, 1991. Cap.9, p.119-134.
- [GoHo91] GOGOLLA, M., HOHENSTEIN, U. Towards a semantic view of an extended entity-relationship model. *ACM Transactions on Database Systems*, v.16, n.3, 1991.
- [Good92] GOODCHILD, Michael F. Geographical data modeling. *Computers & Geoscience*, London, v.18, n.4, p.401-408, 1992.
- [HuKi87] HULL, Richard, KING, Roger. Semantic database modeling: survey, applications, and research issues. *ACM Computing Surveys*, v.19, n.3, p.201-260, 1987.
- [Kemp92] KEMP, Karen K. *Environmental modeling with GIS: a strategy for dealing with spatial continuity*. Santa Barbara: University of California, 1992. (PhD thesis).
- [KöPS95] KÖSTERS, G., PAGEL, B., SIX, H. Object-oriented requirements engineering for GIS-applications. In: ACM-GIS INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCES IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 1995, Baltimore. *Proceedings...*p.61-69.

- [KöPS96] KÖSTERS, G., PAGEL, B., SIX, H. GIS-application development with GeoOOA. *International Journal of Geographical Information Science*, London, v.11, n.4, p.307-335, 1997.
- [LaFl94] LAENDER, Alberto H. F., FLYNN, Donal J. A semantic comparison of modelling capabilities of the ER and NIAM models. In: ELMASRI, R., KOURAMAJIAN, V., THALHEIM, B.(eds.). *Entity-Relationship approach – ER'93*. Berlin: Springer-Verlag, 1994. p.242-256.
- [LaTh92] LAURINI, Robert, THOMPSON, Derek. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. London: Academic Press, 1992. 680p.
- [LeCh95] LEE, Y. C., CHIN, F. L. An iconic query language for topological relationships. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.9, n.1, p.25-46, 1995.
- [Lio96] LISBOA F., Jugurta., IOCHPE, Cirano. *Análise comparativa dos modelos de dados conceituais para sistemas de informações geográficas*. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1996. RP- 266.
- [Lio99] LISBOA F., Jugurta., IOCHPE, Cirano. Um estudo sobre modelos conceituais de dados para projetos de bancos de dados geográficos. *Revista IP- Informática Pública*, Belo Horizonte, v.1, n.2, 1999.
- [Lisb97] LISBOA F., Jugurta. *Modelos conceituais de dados para sistemas de informações geográficas*. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1997. EQ- 12.
- [MaES95] MARK, David M., EGENHOFER, Max. J., SHARIFF, Abdul R. M. Towards a standard for spatial relations in SDTS and geographic information systems In: GIS/LIS'95, 1995, Nashville. *Proceedings...* v.2, p.686-695.
- [MaFr90] MARK, David M., FRANK, Andrew U. *Language issues for geographical information systems*. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), 1990. Technical Report 90-10.
- [MeBo96] MEDEIROS, C. B., BOTELHO, M. A. Tratamento do tempo em SIG. In: GIS BRASIL96, 1996, Curitiba. *Anais...* p.534-553.
- [MePi94] MEDEIROS, Claudia B., PIRES, Fátima. Databases for GIS. *SIGMOD Record*, v.23, n.1, p.107-115, 1994.

- [Monm91] MONMONIER, Mark. *How to lie with maps*. Chicago: The University of Chicago Press, 1991. 176p.
- [MWLS95] MÜLLER, J. C.; WEIBEL, R.; LAGRANGE, J. P.; SALGÉ, F. Generalization: state of art and issues. In: MÜLLER, J. C., LAGRANGE, J. P., WEIBEL, R. *GIS and generalization: methodology and practice*. GISDATA I, serie editors. Londres: Taylor & Francis, 1995. Cap.1, p.3-17.
- [NaFe94] NATIVI, Stefano, FEDERICI, Giorgio. A conceptual modelling for the GIS developing. In: FIFTH EUROPEAN CONFERENCE AND EXHIBITION ON GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS – EGIS/MARI'94, 1994. *Proceedings...*v.1,p.899-908.
(<http://www.wsgi.ursus.maine.edu/gisweb/egis/eg94102.html>)
- [Nava92] NAVATHE, Shamkant B. Evolution for data modeling for databases. *Communications of the ACM*, v.35, n.9, p.112-123, 1992.
- [OlPM97] OLIVEIRA, Juliano L., PIRES, Fátima, MEDEIROS, Claudia. B. An environment for modeling and design of geographic applications. *GeoInformatica*, Boston, n.1, p.29-58, 1997.
- [PaTh97] PAPADIAS, Dimitris, THEODORIDIS, Yannis. Spatial relations, minimum bounding rectangles, and spatial data structures. *International Journal of Geographical Information Science*, London, v.11, n.2, p.111-138, 1997.
- [PeBS97] PEREZ, Celso R.; BATISTA, Daniela C. F.; SALGADO, Ana Carolina. BDGEO: modelagem, implementação e visualização de dados geográficos. In: GIS BRASIL97, 1997, Curitiba. *Anais...* p.252-262.
- [Peuq84] PEUQUET, Donna J. A conceptual framework and comparasion of spatial data models. *Cartographica*, n.21, p.666-113, 1984.
- [Pime95] PIMENTEL, Flávio Leal A. *Uma proposta de modelagem conceitual para dados geográficos: o modelo MGEO⁺*. Recife, PE: UFPE, 1995. (Dissertação de Mestrado).
- [PuEg88] PULLAR, D. V., EGENHOFER, M. J. Towards the defaction and use of topological relations among spatial objects. In: 3rd INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING (Columbus: International Geographical Union), 1988. *Proceedings...*p.225-242.

- [Rati97] RATIONAL Software Corporation. *The Unified Language: notation guide*, version 1.1 July 1997. (<http://www.rational.com>).
- [RBPE91] RUMBAUGH, J., BLAHA, M., PREMERLANI, W., EDDY, F., LORENSEN, W. *Object-Oriented Modeling and Design*. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.
- [RuLa95] RUAS, A., LAGRANGE, J. P. Data and knowledge modelling for generalization. In: MÜLLER, J. C., LAGRANGE, J. P., WEIBEL, R. *GIS and generalization: methodology and practice*. GISDATA I, serie editors. Londres: Taylor & Francis, 1995. Cap.6, p.73-90.
- [Rumb96] RUMBAUGH, James. *OMT insights: perspectives on modeling from the Journal of Object-Oriented Programming*. New York: SIGS Books, 1996. 390p.
- [SanF79] Dos SANTOS, C., NUHOLD, E., FURTADO, A. A data type approach to entity-relationship model. In: 1st INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENTITY-RELATIONSHIP APPROACH, 1979, Los Angeles, CA. *Proceedings....*
- [SCGL97] SHEKHAR, S., COYLE, M., GOYAL, B., LIU, D., SARKAR, S. Data model in geographic information systems. *Communications of the ACM*, v.40, n.4, p.103-111, 1997.
- [ScSW79] SCHEUERMANN, P., SCHIFFNER, G., WEBER, H. Abstraction capabilities and invariant properties modeling within the entity-relationship approach. In: 1st INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENTITY-RELATIONSHIP APPROACH, 1979, Los Angeles, CA. *Proceedings....*
- [Ship81] SHIPMAN, D. The functional data model and the data language DAPLEX. *ACM Transactions on Database Systems*, v.6 n.1, 1981.
- [SiKe77] SIBLEY, E., KERSCHBERG, L. Data architecture and data model considerations. *Proceedings of the National Computer Conference*. American Federation of information Processing Societes, n.46,1977
- [Smsm77] SMITH, J., SMITH, D. Database abstraction: aggregation and generalization. *ACM Transactions on Database Systems*, v.2, n.2, 1977.
- [StMa97] STRAUCH, Júlia, MATTOSO, Marta. Orientação a objetos aplicada aos GIS. *Fator GIS*, n.20, p.58-60, 1997.

- [TeYF86] TEOREY, T., YANG, D., FRY, J. A logical design methodology for relational databases using the extended entity-relationship model. *ACM Computing Surveys*, v.18, n.2, 1986.
- [woHM90] WORBOYS, Michael F., HEARNshaw, Hilary M., MAGUIRE, David J. Object-oriented data modelling for spatial databases. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.4, n.4, p.369-383, 1990.