Karla Albuquerque de Vasconcelos Borges

Modelagem de Dados Geográficos:

Uma Extensão do Modelo OMT para Aplicações Geográficas

Dissertação apresentada à Escola de Governo - Fundação João Pinheiro, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Administração Pública.
Área de concentração: Tecnologias da Informação

Orientador: Prof. Alberto Henrique Frade Laender.

Belo Horizonte

1997

Folha de Aprovação

Modelagem de Dados Geográficos:
Uma Extensão do Modelo OMT para Aplicações Geográficas

Karla Albuquerque de Vasconcelos Borges

Dissertação defendida e aprovada, em 15 de dezembro de 1997, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Alberto Henrique Frade Laender – Orientador

DCC – ICEX - UFMG

Prof. Berthier Ribeiro de Araújo Neto

DCC – ICEX - UFMG

Prof. Rodolfo Sérgio Ferreira de Resende

DCC – ICEX - UFMG

Agradecimentos

Inúmeras foram as pessoas que contribuíram para que eu conseguisse chegar ao término desta etapa. A todas elas que, direta ou indiretamente, me deram apoio, incentivo, equilíbrio e amizade, o meu mais sincero agradecimento.

Em especial agradeço:

Ao Romero, meu amor, amigo e companheiro, pela paciência, ajuda constante e por compartilhar dos meus sonhos.

Ao meu filho Raphael, pelo seu carinho e sorriso de todos os dias, essenciais nessa longa caminhada.

Aos meus pais, Albino e Carolina, que me deram amor, apoio, educação e habilidades que me capacitaram a realizar esta dissertação.

Ao Prof. Alberto pela sua orientação, apoio, ensinamentos e sobretudo, pela confiança e carinho que sempre fizeram parte do nosso relacionamento.

Ao Fred, amigo constante, pelo seu apoio, amizade e incentivo.

À Piedade, pela amizade de todos os dias e por compartilhar todos os momentos.

Ao Clodoveu, pelo incentivo a fazer o mestrado, pela amizade e por toda ajuda técnica.

Ao Rômulo, pelo incentivo, amizade e exemplo.

Aos amigos do mestrado, em especial, Rosana, Dilu, Taciana, Mário, Nélson e Ezequiel, pela amizade e convivência, que fizeram com que este período fosse tão feliz.

Aos amigos de mestrado da Prodabel, pelo incentivo, apoio e companheirismo.

Às amigas Mariléa, Sandra e Santa, que estiveram sempre de perto me apoiando.

Ao Jugurta, um novo amigo, pela ajuda técnica, essencial na qualidade deste trabalho.

À Prodabel, pelo apoio e oportunidade. Agradeço principalmente ao seu presidente, Gustavo da Gama Torres, pela iniciativa deste mestrado e ao João Carlos Zamagna, pelo apoio dado, essencial para o término desta dissertação.

Ao Espírito Infinito, que sempre ilumina e guia os meus caminhos.

Sumário

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO 1

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO 3

2 CONCEITOS BÁSICOS 4

2.1 INTRODUÇÃO 4

2.2 CONCEITOS BÁSICOS DE CARTOGRAFIA 5

2.2.1 Elipsóide de Revolução 5

2.1.2 Datum 5

2.2.3 Sistemas de Coordenadas 6

2.2.4 Projeções Cartográficas 7

2.2.5 Escalas 7

2.2.6 Generalização Cartográfica 8

2.3 DADOS GEOGRÁFICOS 9

2.4 REPRESENTAÇÃO DA REALIDADE GEOGRÁFICA 10

2.4.1 O Espaço Cognitivo – Fatores Humanos na Interpretação do Espaço 10

2.4.2 Visão de Campos e Objetos 11

2.4.3 Representação Vetorial / Matricial 13

2.5 RELAÇÕES ESPACIAIS 14

2.6 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA 16

2.6.1 Definição 16

2.6.2 SIG e Orientação a Objetos 17

3 MODELOS DE DADOS PARA APLICAÇÕES GEOGRÁFICAS 18

3.1 INTRODUÇÃO 18

3.2 REQUISITOS DE UM MODELO DE DADOS GEOGRÁFICOS 21

3.3 NÍVEIS DE ABSTRAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS 22

3.4 MODELOS DE DADOS SEMÂNTICOS 23

3.4.1 Modelo Entidade-Relacionamento (ER) *26*
3.4.2 Modelo IFO *28*
3.4.3 Object Modeling Technique (OMT) *30*
3.4.4 Object-Oriented Analysis Method (OOA) *33*
3.5 MODELOS DE DADOS GEOGRÁFICOS 35
3.5.1 Modelo Geo-IFO *35*
3.5.2 Modelo IFO para Aplicações Geográficas *37*
3.5.3 Modelo MGEO/MGEO^{+} *38*
3.5.4 Modelo OMT Estendido *40*
3.5.5 Modelo Objeto-Relacional *41*
3.5.6 Modelo GISER *43*
3.5.7 Modelo GeoOAA *45*
3.5.8 Modelo GMOD *48*
3.5.9 MODUL-R *51*
3.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS DE DADOS PARA APLICAÇÕES GEOGRÁFICA .. 53

4 MODELO DE DADOS GEOGRÁFICOS GEO-OMT 58

4.1 INTRODUÇÃO 58
4.2 CARACTERÍSTICAS DO MODELO GEO-OMT 59
4.3 CLASSES BÁSICAS 60
4.3.1 Geo-Campo *67*
4.3.2 Geo-Objeto *69*
4.4 RELACIONAMENTOS 73
4.5 GENERALIZAÇÃO E ESPECIALIZAÇÃO 80
4.6 AGREGAÇÃO 82
4.7 AGREGAÇÃO ESPACIAL - "TODO-PARTE" 83
4.8 GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA 85
4.9 RESTRIÇÕES ESPACIAIS 90
4.10 DIAGRAMA DE TEMAS 98

5 ESTUDO DE CASO – TRANSPORTE COLETIVO 101

5.1 INTRODUÇÃO 101

5.2 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO E MODELAGEM USANDO GEO-OMT 101
5.3 AVALIAÇÃO DA MODELAGEM 105
5.3.1 Representação da Visão de Campos 105
5.3.2 Representação da Visão de Objetos 106
5.3.3 Representação de Classes Georreferenciadas e Classes Convencionais 107
5.3.4 Representação de Relações Espaciais 108
5.3.5 Múltiplas Representações 111
5.3.6 Generalização Espacial 112
5.3.7 Conclusão da Avaliação 113
6 CONCLUSÕES 114
6.1 REVISÃO DO TRABALHO 114
6.2 PRINCIPAIS RESULTADOS 115
6.3 EXTENSÕES E TRABALHOS FUTUROS 116
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 118

Lista de Figuras

2.1 Generalização de Área..... 9
2.2 Relações Topológicas..... 16
3.1 Construtores Básicos do Modelo ER..... 27
3.2 Notação do Modelo IFO..... 29
3.3 Construtores Mais Comuns do Modelo OMT..... 32
3.4 Principais Construtores do Modelo OOA..... 34
3.5 Componentes do Modelo GEO-IFO..... 36
3.6 Representação de Nó, Linha e Polígono no Modelo IFO..... 37
3.7 Hierarquia de Classes do Modelo MGEO^{+}..... 39
3.8 Notação Gráfica da Extensão de [AbCa94]..... 40
3.9 Estrutura Hierárquica do Modelo Objeto-Relacional..... 42
3.10 Classes do Modelo GISER..... 44
3.11 GeoClasses do Modelo GeoOOA..... 45
3.12 Primitivas de Agregação Espacial..... 46
3.13 Estrutura de Rede no Modelo GeoOOA..... 46
3.14 Classe Temporal e Relacionamento Temporal no Modedelo GeoOOA..... 47
3.15 Hierarquia de Classes no Modelo GMOD..... 50
3.16 Estrutura Modular..... 51
3.17 Construtores do Modelo MODUL-R..... 53
4.1 Meta Modelo Parcial do Modelo Geo-OMT..... 60
4.2 Pictogramas da Classe *Geo-Objeto*..... 62
4.3 Exemplo de Simplificação por Substituição Simbólica..... 63
4.4 Notação Gráfica das Classes Básicas..... 64
4.5 Administrações Regionais de Belo Horizonte..... 65
4.6 *Geo-Campos*..... 66
4.7 *Geo-Objetos*..... 68
4.8 Exemplo de Classes do Tipo de *Geo-Objetos*..... 70
4.9 Relacionamentos..... 72
4.10 Relação entre *Geo-Campo* e *Geo-Objeto*..... 72

4.11 Relacionamentos Espaciais..... 76
4.12 Cardinalidade..... 77
4.13 Generalização..... 78
4.14 Generalização Espacial..... 79
4.15 Generalização Espacial do Nó da Rede Fluvial..... 80
4.16 Notação Gráfica Agregação..... 80
4.17 Exemplo de Agregação..... 81
4.18 Agregação Espacial..... 82
4.19 Diferentes Visões de um Rio..... 84
4.20 Generalização Cartográfica – Variação pela Forma..... 85
4.21 Generalização Cartográfica – Variação por Escala..... 86
4.22 Variação da Visualização de um Símbolo..... 87
4.23 Generalização Cartográfica..... 87
4.24 Diagrama de Temas..... 96
4.25 Esquema de Parte da Aplicação de Circulação Viária..... 97
5.1 Rede do Itinerário de Ônibus..... 100
5.2 Exemplo da Circulação Viária..... 100
5.3 Esquema da Aplicação de Transporte Coletivo..... 101
5.4 Esquema para Geo-Campo..... 102
5.5 Esquema para Geo-Objeto..... 103
5.6 Representação de Classe Convencional e Georreferenciada..... 104
5.7 Relação Espacial e Associação Simples no Modelo Geo-OMT..... 105
5.8 Relações Espaciais..... 106
5.9 Estrutura de Rede..... 107
5.10 Múltiplas Representações..... 108
5.11 Generalização Espacial..... 109

Lista de Tabelas

2.1 Visão de Campos..... 12
3.1 Requisitos das Aplicações Geográficas X Modelos de Dados Geográficos..... 54

Resumo

Modelos de dados semânticos e orientados a objetos, tais como Entidade-Relacionamento (ER), *Object Modeling Technique* (OMT), IFO 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. Esta dissertação apresenta uma extensão do modelo OMT, denominado Geo-OMT, para utilização em aplicações geográficas. O modelo Geo-OMT fornece primitivas para modelar a geometria e a topologia dos dados espaciais, suportando diferentes estruturas topológicas, múltiplas visões dos objetos e relacionamentos espaciais. Dessa forma, ele supre as principais limitações dos modelos hoje mais utilizados, provendo maiores facilidades para a modelagem de aplicações geográficas.

Abstract

Semantic and object-oriented data models, such as the Entity-Relationship (ER model), the Object Modeling Technique (OMT), the IFO and others, have been extensively used for modelling geographic applications. Despite their semantic expressiveness, such models present limitations to adequately model those applications, since they do not provide appropriate primitives for representing spatial data. This dissertation presents Geo-OMT, an extension of the OMT model for geographic applications. Geo-OMT provides primitives for modelling the geometry and the topology of spatial data, supporting different topological structures, multiple views of objects, and spatial relationships. In this way, it overcomes the main limitations of the existing models, thus providing more facilities for modelling geographic applications.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e Objetivos da Dissertação

Com o advento dos sistemas de informação geográfica (SIG), as aplicações voltadas para as áreas urbanas adquiriram uma nova perspectiva. Os SIG surgiram como uma forma de facilitar o trabalho de análise geográfica automatizando o processo de coleta e processamento de dados geográficos [Bote95]. Com o uso dessa tecnologia, o administrador urbano, independente de sua especialidade, tem agora a possibilidade de visualizar o seu ambiente de trabalho de uma forma única, integrando dados de diversas fontes à visualização da área desejada. Todas as informações em um SIG estão ligadas a uma referência espacial, o que é muito propício ao desenvolvimento de aplicações na área urbana, uma vez que, a maior parte das aplicações são georreferenciadas. A manipulação integrada de dados gráficos e não-gráficos, juntamente com a possibilidade de análises espaciais, pode orientar as tomadas de decisões e o planejamento e, ainda, auxiliar na avaliação da eficácia das políticas de intervenção urbana.

A preocupação com a qualidade de vida urbana desperta cada vez mais a atenção sobre os problemas derivados do mau uso do solo urbano e do ambiente em geral. A necessidade de gerenciar o município de forma integrada e a preocupação com a qualidade de vida urbana tem levado as prefeituras a se interessarem cada vez mais pelos sistemas de informação geográfica. Belo Horizonte foi um dos primeiros municípios brasileiros a implantar um sistema de informação geográfica voltado para o uso urbano. Em 1992, a Empresa de Informática e Informação do Município de Belo

Horizonte (Prodabel) adquiriu equipamentos e *software* para gerência e manutenção do banco de dados geográfico da Prefeitura de Belo Horizonte.

Seguindo a metodologia de desenvolvimento de sistemas da Prodabel, iniciamos a modelagem das aplicações geográficas de Belo Horizonte utilizando o modelo ER [Chen76]. Inúmeras foram as dificuldades encontradas, entre as quais citamos: a impossibilidade de distinção entre entidades que possuíam uma referência geográfica e entidades somente alfanuméricas, a dificuldade de representação da natureza geométrica das entidades e a ausência de representação das relações espaciais. Apesar de sua grande expressividade, o modelo ER apresentava limitações para a adequada modelagem dessas aplicações, já que não possuía primitivas geográficas apropriadas para a representação de dados espaciais.

Conforme percebido, as técnicas tradicionais de modelagem de dados não ofereciam meios adequados para representar a realidade geográfica. Existem características próprias dos dados geográficos que tornam a modelagem mais complexa que a modelagem de aplicações convencionais. Modelar os aspectos espaciais é fundamental na criação de um banco de dados geográfico, e por se tratar de uma abstração da realidade geográfica, a visão que o usuário tem do mundo real poderá variar, dependendo do ele quer representar e obter com essa representação. É necessário representar essas várias visões no esquema da aplicação.

Dentro deste contexto geográfico, conceitos como geometria e topologia são importantes na determinação das relações espaciais entre os objetos, sendo decisivas no processo de entrada de dados e de análise das entidades gráficas. O estudo e a representação das relações espaciais é uma questão altamente relevante na modelagem de dados geográficos.

Esta dissertação apresenta as particularidade dos dados geográficos, descreve os requisitos necessários a um modelo de dados geográfico e, como forma de suprir as deficiências percebidas, apresenta uma extensão do modelo de objetos da *Object Modeling Technique* (OMT) [RBPE91], denominado Geo-OMT [BOLa97], para utilização em aplicações geográficas. O modelo Geo-OMT fornece primitivas para modelar a

geometria e a topologia dos dados geográficos, suportando diferentes estruturas topológicas, múltiplas visões das entidades geográficas e relações espaciais. Dessa forma, o modelo proposto procura suprir as principais limitações dos modelos mais utilizados, provendo maiores facilidades para a modelagem de aplicações geográficas.

1.2 Organização da Dissertação

A dissertação está estruturada conforme descrito a seguir.

O Capítulo 2 apresenta os principais conceitos utilizados no decorrer da dissertação apresentando conceitos básicos de cartografia, dados geográficos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica dos principais modelos de dados geográficos presentes na literatura, apresenta os requisitos desejáveis em um modelo de dados geográfico e fornece uma comparação entre os modelos apresentados.

O Capítulo 4 propõe uma extensão do modelo de objetos da OMT (Object Modeling Technique), denominado Geo-OMT, para utilização em aplicações geográficas. Nele estão descritas as primitivas do modelo proposto e as restrições espaciais consideradas.

O Capítulo 5 apresenta a modelagem de um caso real utilizando o modelo Geo-OMT e faz uma avaliação, quanto à sua expressividade e clareza, em relação aos modelos de dados geográficos GISER, MODUL-R, GMOD e GeoOOA descritos no Capítulo 3.

Finalmente, o Capítulo 6 apresenta as conclusões e as direções para possíveis trabalhos.

CAPÍTULO 2

CONCEITOS BÁSICOS

2.1 Introdução

Os sistemas de informação geográfica tiveram um importante papel como tecnologia de integração entre várias disciplinas distintas como geografia, cartografia, fotogrametria, sensoriamento remoto, geodésia, engenharia, estatística, ciência da computação, pesquisa operacional, inteligência artificial, demografia, e muitos ramos das ciências sociais, ciências naturais, ciências econômicas e ciências políticas [FOLY95 apud BOTE95]. Entre elas, destacamos aquelas que desenvolvem conceitos para tratar com o espaço como as ciências cognitiva, geografia, lingüística; as que desenvolvem ferramentas práticas e instrumentos para obtenção e manipulação dos dados espaciais como cartografia, geodésia, sensoriamento remoto, fotogrametria; e por último, aquelas que fornecem formalismos e teorias para tratar o espaço e automação como ciência da computação, geometria, inteligência artificial. Sendo todas essas disciplinas associadas de alguma forma ao tratamento das informações geográficas, iremos explicar, neste capítulo, alguns conceitos básicos referentes a elas e que são utilizados no decorrer desta dissertação.

2.2 Conceitos Básicos de Cartografia

2.2.1 Elipsóide de Revolução

Devido à complexidade de se trabalhar com a Terra na sua forma real, os cartógrafos aproximaram sua superfície para um modelo do *globo terrestre*. Nesse processo de aproximação é construído um geóide, resultante da medição do nível dos oceanos. O geóide é aproximado a um elipsóide de revolução mais regular. “Um elipsóide de revolução é um sólido gerado pela rotação de uma elipse em torno do eixo menor dos pólos” [CCHM96, pág.5]. Cada país deve adotar como referência o elipsóide mais adequado à sua região, já que existem valores diferentes para os elementos de um elipsóide (raio do equador, raio polar e coeficiente de achatamento) [CCHM96].

2.1.2 Datum

“Datum é um ponto onde a superfície do elipsóide de referência toca a Terra, sendo caracterizado a partir de uma superfície de referência (datum horizontal) e de uma superfície de nível (datum vertical)” [CCHM96, pág.6].

A área escolhida como datum é um ponto mais ou menos central em relação à área de abrangência. No Brasil, o datum horizontal (planialtimétrico) anteriormente adotado era o de Córrego Alegre, MG. Atualmente, o datum oficial é o SAD69 (Datum Sul Americano de 1969), situado no vértice Chuá, MG. O datum vertical (altimétrico) é o marégrafo de Imbituba, SC.

2.2.3 Sistemas de Coordenadas

“Um objeto geográfico qualquer somente pode ser localizado se puder ser descrito em relação a outros objetos cujas posições sejam previamente conhecidas, ou se tiver sua localização determinada em uma rede coerente de coordenadas. Quando se dispõe de um sistema de coordenadas fixas, pode-se definir a localização de qualquer ponto na superfície da terrestre” [CCHM96, pág. 7].

Os dois grandes grupos de sistemas de coordenadas utilizados são: o sistema de coordenadas geográficas ou terrestres e o sistema de coordenadas planas ou cartesianas.

Com o *sistema de coordenadas geográficas*, um ponto na superfície da Terra é representado por um valor de latitude/longitude. Latitude é a distância angular entre um ponto na superfície da terrestre e a Linha do Equador, e longitude é a distância angular entre um ponto qualquer na superfície terrestre e o meridiano de origem (0°). A escolha do meridiano de origem pode variar dependendo do país [CCHM96]. Star e Estes [StEs90] salientam que, apesar do sistema coordenadas geográficas ser o de uso mais comum, nem sempre é conveniente expressar distâncias e áreas a partir dessas coordenadas angulares.

Já o *sistema de coordenadas planas* usa a distância a um ponto determinado como base para todas as localizações [StEs90]. Ele é baseado na escolha de dois eixos perpendiculares (eixos horizontal e vertical), cuja interseção, denominada origem, é estabelecida como base para a localização de qualquer ponto do plano. Nele, um ponto é representado por dois números: um correspondendo à projeção sobre o eixo *x* (horizontal) e o outro sobre o eixo *y* (vertical). Como as coordenadas planas são associadas matematicamente às coordenadas geográficas, umas podem ser convertidas nas outras [CCHM96]. O sistema Universal Transversa de Mercator (*Universal Transverse Mercator* (UTM) é o mais conhecido sistema de coordenadas planas.

2.2.4 Projeções Cartográficas

Sendo a forma da terra praticamente esférica, apresentando pequenos desvios devido ao efeito da gravidade, forças centrífugas, heterogeneidade da superfície, forças tectônicas e atuação do homem, um globo esférico é ainda a melhor representação da terra considerando que o achatamento dos pólos causa pequena distorção. No entanto, manipular um globo é difícil e pouco prático. Por isto, geralmente são usados mapas com representações planas da superfície da Terra [StEs90].

Existe uma grande variedade de projeções cartográficas, devido à infinidade de meios de se projetar em um plano os objetos geográficos que caracterizam a superfície da Terra [CCHM96, StEs90, Oliv88]. No entanto, o fato de se projetar gera sempre algum tipo de deformação. Essa deformação será nula nos locais em que a superfície toca o globo. Algumas projeções conservam a distância ou a verdadeira direção, outras mantêm a forma correta e outras preservam o tamanho da área [LaTh92].

Os sistemas de projeções são analisados segundo o tipo de superfície adotada e o grau de deformação causado [CCHM96]. A superfície que toca o globo terrestre poderá ser tangente, secante ou complexa, acarretando maior ou menor distorção. Como cada método de projeção preserva diferentes propriedades espaciais como área, distância, direção ou forma, a sua aplicabilidade está relacionada com o grau de precisão desejado, com o tipo de dado disponível e com o que se pretende analisar [CCHM96]. Em [CCHM96, pág.13] encontra-se uma análise comparativa das projeções.

2.2.5 Escalas

Escala é uma relação constante entre as distâncias lineares representada em um mapa e as distâncias equivalentes medidas na superfície da Terra. Em uma escala 1/10.000 (ou 1:10.000), por exemplo, 1 cm no mapa corresponde a 10.000 cm (ou 100 m) no terreno.

Uma escala representa um nível de generalização no qual um fenômeno existe ou é percebido por um observador. A escala de observação ou mapeamento irá afetar o que pode ser representado. Assim, em determinadas escalas, algumas entidades podem desaparecer, porque para cada escala é estabelecido o tamanho mínimo de uma unidade [LaTh92].

A escala pode estar representada em um mapa de duas maneiras: escala numérica e escala gráfica. A escala numérica usa a representação de fração. Os denominadores representam as dimensões naturais e os numeradores as dimensões correspondentes no mapa [CCHM96]. A escala gráfica é representada por um segmento de reta graduado.

Câmara et al. [CCHM96] salientam que em um SIG um mapa digital pode ser apresentado ou impresso em qualquer escala, independente da escala de origem em que os dados foram armazenados. No entanto, se a escala escolhida for menor que a original, detalhes e precisão podem ser perdidos.

2.2.6 Generalização Cartográfica

Processos geográficos são dependendes 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 2.1 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.

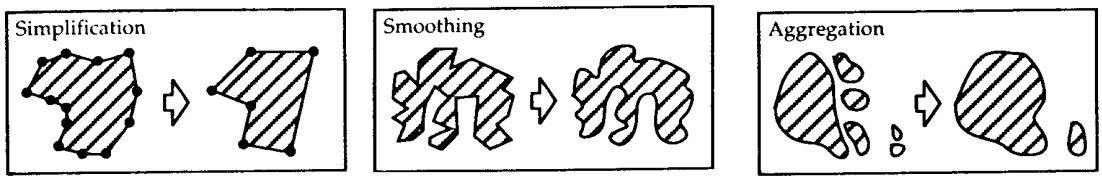


Figura 2.1 – Generalização de Área (Fonte: [Monm91])

2.3 Dados Geográficos

O *espaço geográfico* é o meio físico onde as entidades geográficas coexistem. Uma en*tidade 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* Euclideana[1] [LaTh92].

2.4 Representação da Realidade Geográfica

2.4.1 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,

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

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.

2.4.2 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, Lio96, Kemp92]: amostragem de pontos, isolinhas, regiões conectadas e grade de células (Tabela 2.1).

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 *Triangulated irregular network*

Tabela 2.1 – Visão de Campos

2.4.3 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: 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

[LiIo96] 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 [LiIo96]. 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].

2.5 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 topológias* 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 *direciona*is 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 boleano, 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*, s*uperposto a, tocando em, cruzando* e *disjunto*. [Fran96] propõe a combinação das relações métricas (especificamente distância e direções cardeais) com as relações topológicas como forma de melhor descrever as situações no espaço para grandes escalas. A Figura 2.2 exemplifica as relações topológicas.

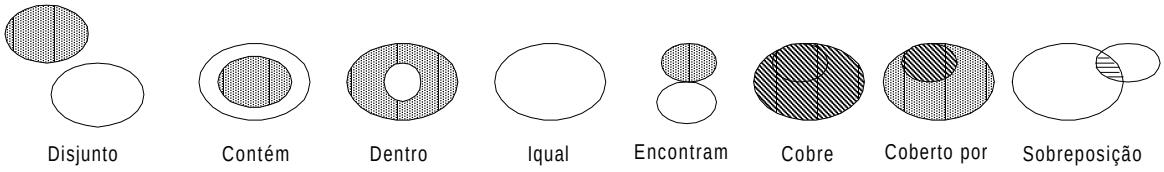


Figura 2.2 - Relações Topológicas

2.6 Sistema de Informação Geográfica

2.6.1 Definição

Diversas são as definições encontradas na literatura para os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Sendo esta uma tecnologia emergente e multidisciplinar, ela está na fronteira de várias áreas do conhecimento e, portanto, é percebida de maneira diferente pelos especialistas de cada área. Cada uma das definições existentes tenta privilegiar um aspecto dessa tecnologia [Davi97]. Uma definição bastante abrangente é apresentada em [CCHM96, pág. 21]:

> "Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la".

Os dados geográficos manipulados pelos SIGs são obtidos de diversas fontes (fotografias aéreas, imagens de satélite, mapas, cadastros) e são capturados por dispositivos diferentes, em formatos distintos, requerendo funções de análise e apresentação especializadas, não presentes em sistemas de banco de dados convencionais. Além de dados convencionais, os SIGs manipulam dois tipos de dados especiais: dados *espaciais*, que modelam a geometria e os relacionamentos topológicos das entidades geográficas, e dados *pictóricos*, que são usados para armazenar a imagem do objeto [Cere96].

2.6.2 SIG e Orientação a Objetos

Sistemas de informação geográfica podem ser implementados usando sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais, relacionais estendidos ou orientados a objetos. De acordo com [Cere96, Bote95, Worb94, WOHM90, SaSb94, Cros93, EgFr92, Egen95, GüLa94, DaBo94, Kooy94, StMa97, WiAd94], o paradigma de orientação a objetos oferece um ambiente mais propício para o SIG devido, principalmente, à possibilidade de representar as entidades do mundo real diretamente no modelo conceitual, fornecendo mecanismos de abstração capazes de modelar situações complexas como os objetos geométricos, os quais podem ser alterados num período de tempo. Destacam-se os conceitos de herança, reutilização e característica de extensibilidade. Comparado com os modelos de dados convencionais (relacional, de rede e hierárquico), um modelo orientado a objetos é mais flexível e adequado para descrever estruturas de dados complexas.

Capítulo 3

Modelos de Dados para Aplicações Geográficas

3.1 Introdução

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]. As técnicas tradicionais para a modelagem de dados não são adequadas para representar as informações geográficas. Apesar de toda a expressividade por elas oferecidas, 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 acurácia [OlPM97]. 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 possuírem 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. Consequentemente, 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.

Neste capítulo apresentamos os requisitos necessários a um modelo de dados geográfico, os níveis de abstração dos dados geográficos, os principais modelos semânticos e orientados a objetos utilizados como base para as extensões geográficas e alguns modelos de dados geográficos, propostos na literatura. Finalmente, fazemos uma comparação entre os modelos apresentados.

3.2 Requisitos de um Modelo de Dados Geográficos

Considerando os fatores expostos na Seção 3.1 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.

3.3 Níveis de Abstração de Dados Geográficos

Os modelos de dados podem variar de acordo com o nível de abstração empregado. Câmara et al. [CCHM96] especificam quatro níveis de abstração utilizados nas aplicações geográficas:

- *Nível do mundo real* - Contém os fenômenos geográficos a serem representados como, rios, cidades e vegetação.

- *Nível conceitual* - Oferece um conjunto de conceitos formais para modelar as entidades geográficas, em um alto nível de abstração. Este nível determina as classes básicas (contínuas e discretas) que serão criadas no banco de dados.

- *Nível de representação* - As entidades formais definidas no nível conceitual (classes de campos e objetos) são associadas às classes de representação espacial. As diferentes representações geométricas podem variar conforme a escala, a projeção cartográfica

escolhida ou a visão do usuário. O nível de representação não tem correspondente na metodologia tradicional de banco de dados já que aplicações convencionais raramente lidam com o problema de múltipla representação.

- *Nível de implementação* - Define padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para implementar cada tipo de representação.

Para Lisboa [Lisb97], essa divisão em níveis torna evidente que a dicotomia entre visão de campos e objetos é considerada nos níveis conceitual e de representação, e a dicotomia entre estruturas vetorias e matriciais é uma questão inerente ao nível de implementação. Encontra-se em [Lisb97] uma comparação entre os níveis de especificação de aplicações geográficas e as etapas de projeto de banco de dados (conceitual, lógico e físico). Para Lisboa, a comparação leva a compreender que cada etapa do projeto de um banco de dados geográfico é mais complexa que as respectivas etapas do projeto de um banco de dados convencional.

3.4 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].

Os modelos de dados podem ser adequados ou inadequados para representar diferentes problemas, o que se objetiva é adequá-los a um determinado propósito [RBPE91]. 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, consequentemente, 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.

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.

Objetivando facilitar o entendimento dos modelos de dados para aplicações geográficas apresentados na Seção 3.5, 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.

3.4.1 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 3.1). 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 3.1 apresenta a notação gráfica do modelo ER.

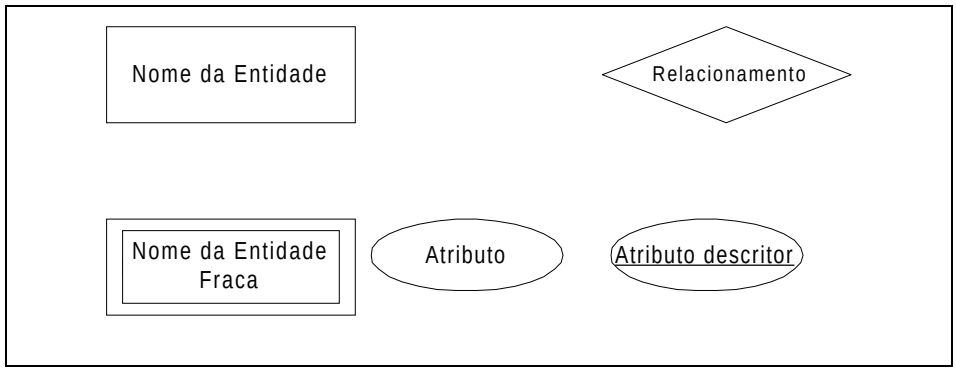


Figura 3.1 – Construtores Básicos do Modelo ER

“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].

3.4.2 Modelo IFO

Hull e King [HuKi87] classificam o modelo IFO (*Is-a relationships, Functional relationships, complex Objects*) como um modelo altamente estruturado. Ele foi proposto por Abiteboul e Hull [AbHu87] apresentando atributos e tipos construtores para agregação e agrupamento, além de distinguir entre os dois tipos de relacionamento "é_um" (generalização e especialização). A descrição feita a seguir é baseada em [HuKi87, AbHu87, Hann95].

Os tipos construtores básicos do modelo IFO são: *Objetos, fragmentos* e *relacionamentos "é_um"* (*is a*). Um tipo de objeto no IFO corresponde a uma coleção de objetos com as mesmas características. Existem três tipos básicos de objeto, *imprimível*, *abstrato* e *livre*, e dois tipos de objeto construtor, *agrupamento* e *agregação (produto cartesiano)*. Um objeto *imprimível* (representado graficamente por um retângulo) é um objeto que pode ser diretamente representado como entrada e saída. Como exemplo, temos os tipos pré-definidos *Integer*, *string*, *real* e *pixel*. Um objeto *abstrato* (representado graficamente por um losango) representa objetos do mundo real que não sejam imprimíveis, como pessoa, companhia e curso. Os objetos do tipo *livre* (representados graficamente por um círculo) são entidades obtidas via relacionamentos de generalização e especialização, como, por exemplo, estudante. Pessoa, por exemplo, é um objeto abstrato e estudante um objeto livre.

Os tipos de objeto não básicos são construídos a partir dos tipos básicos usando *agregação* e *agrupamento*. *Agrupamento* corresponde ao procedimento de formação de um conjunto finito de objetos de uma mesma estrutura. Um *agrupamento* consiste em um conjunto de objetos como, por exemplo, um conjunto de estudantes que forma um tipo de *agrupamento* de nome classe. A *agregação* (produto cartesiano) representa objetos como n-tuplas ordenadas de outros objetos.

O objetivo do modelo IFO é fornecer um formalismo para representar os relacionamentos funcionais entre os tipos. O meio pelo qual os relacionamentos são

representados é o *fragmento.* O *fragmento* é uma construção do modelo IFO que contém os tipos e funções (mas não relacionamentos de generalização ou especialização) sujeitos a certas regras. No modelo IFO, os *fragmentos* formam os blocos construtores dos esquemas. Eles podem ser usados para modelar associações “um_para_um” entre dois objetos. Associações “um_para_muitos” são modeladas indiretamente usando *fragmentos* e *agrupamento.*

O modelo IFO provê um formalismo para a representação do relacionamento funcional entre os tipo Os relacionamentos funcionais são representados pelos *fragmentos*. Um esquema é a maior unidade do modelo IFO sendo uma floresta de fragmentos, possivelmente conectados nos seus vértices primários (raiz do fragmento) por uma generalização e especialização de seus delimitadores. Desta forma, o esquema permite a representação de todos os componentes do modelo IFO.

O modelo IFO representa os dois tipos de relacionamentos “é_um” (*is a*): generalização e especialização. A notação do modelo se encontra na Figura 3.2.

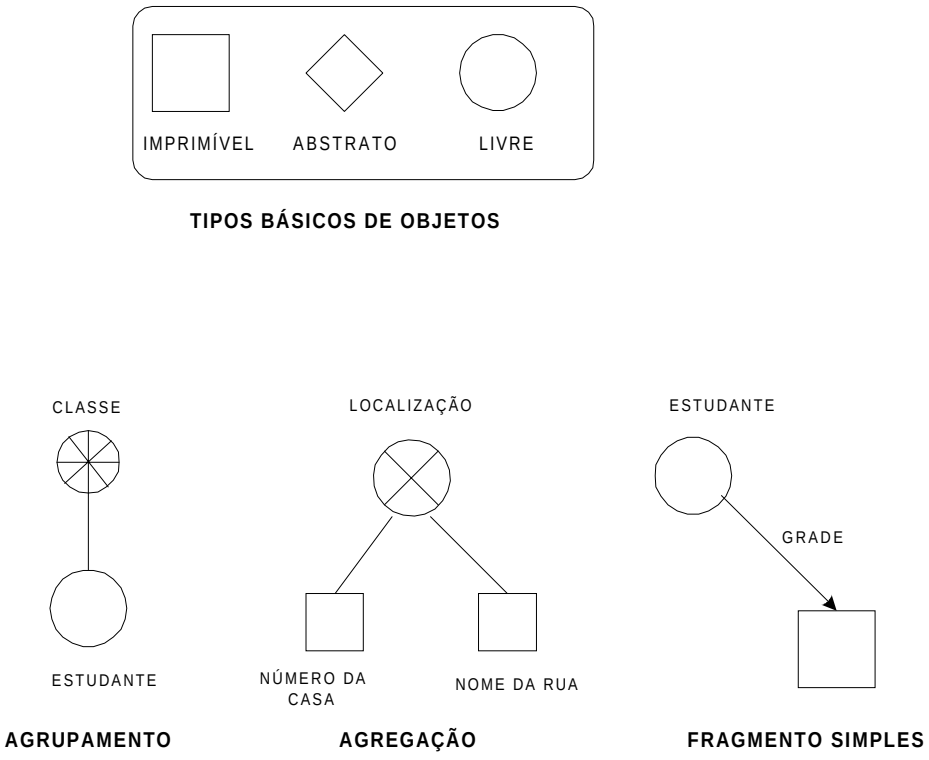


Figura 3.2 – Notação do Modelo IFO

3.4.3 Object Modeling Technique (OMT)

Rumbaugh *et al.* [RBPE91] propuseram um método de projeto orientado a objetos chamado Técnica de Modelagem de Objetos (*Object Modeling Technique* - OMT). Ele é dividido em três fases: análise, projeto e implementação. Como a fase de análise se ocupa da modelagem do mundo real, apenas ela será referenciada nesta seção.

Dentro da fase de análise, existem três modelos: o *modelo de objetos*, o *modelo dinâmico* e o *modelo funcional*. O *modelo de objetos* captura a estrutura estática dos objetos do sistema, mostrando as classes, os relacionamentos existentes entre as classes e os atributos, as operações que caracterizam cada classe, e ainda restrições. Apenas o modelo de objetos será referenciado nesta seção. As definições apresentadas são baseadas em [RBPE91, Rumb96, Ceza97].

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 3.3). *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. A notação utilizada para representar a cardinalidade se encontra na Figura 3.3.

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 no OMT encontram-se na Figura 3.3. Uma descrição completa do modelo pode ser obtida em [RBPE91, Rumb96].

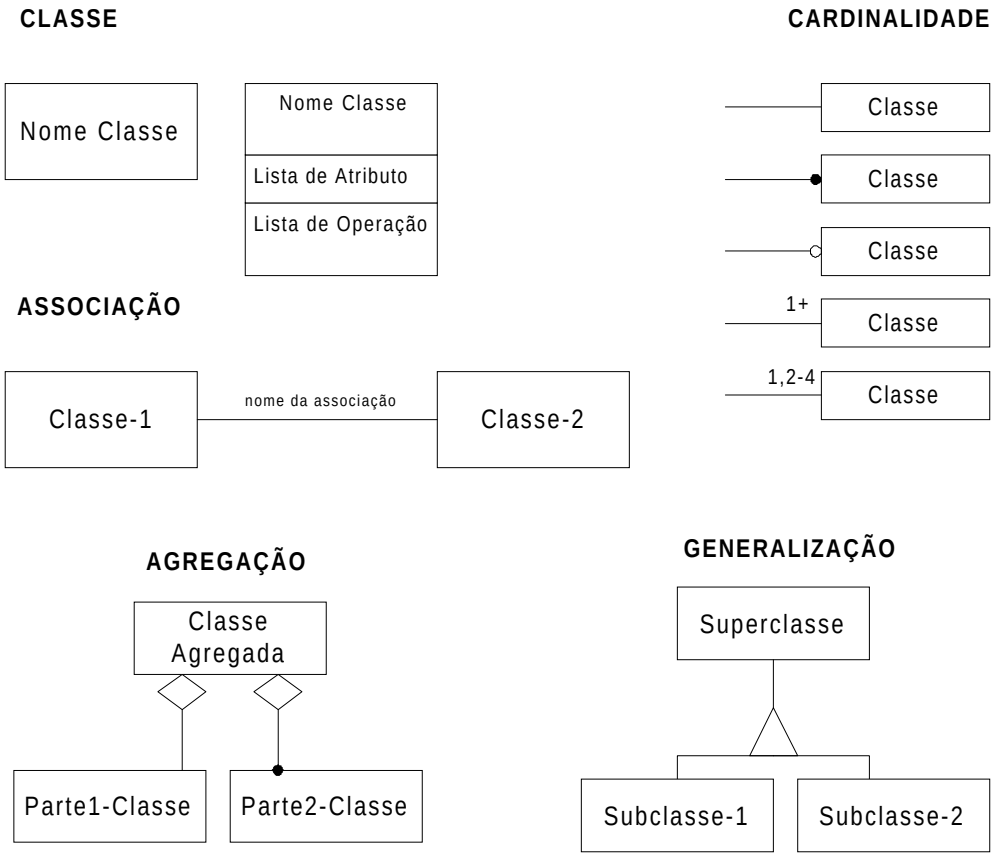


Figura 3.3 – Construtores Mais Comuns do Modelo OMT

3.4.4 Object-Oriented Analysis Method (OOA)

O método de análise orientada a objetos foi proposto por Peter Coad e Edward Yourdon [CoYo91]. É um método destinado primariamente ao desenvolvimento de sistemas de gerenciamento de informações. O método possui um processo bem definido, cobrindo análise e o projeto. A fase de análise é baseada no desenvolvimento de uma forma estendida do modelo entidade-relacionamento, denominada modelo OOA. O método OOA será descrito de maneira genérica a seguir.

O método consiste em cinco níveis:

- *Assunto* – Um *assunto* contém classes que podem conter outros assuntos. Em projetos pequeno, os assuntos servem como um mecanismo para orientação do leitor através do modelo OOA. Já em projetos grandes, os assuntos são muito úteis na divisão do domínio do problema em sub-domínios, organizando pacotes de trabalho.

- *Classe* e *Objeto* – Uma *classe* descreve uma coleção de objetos através de um conjunto uniforme de atributos e serviços, incluindo uma descrição de como criar novos objetos na classe. Um *objeto* é uma abstração de algo do domínio do problema.

- *Estrutura* – O método OOA chama de estrutura as primitivas para representação de generalização/especialização e agregação. A estrutura de *Generalização-especialização* caracteriza a herança na hierarquia entre classes e a estrutura *Todo-parte* (agregação) modela os objetos como parte de outros objetos.

- *Atributo* - Este nível fornece detalhes de informação sobre os objetos. Atributos descrevem valores mantidos em um objeto e que devem ser manipulados exclusivamente pelos *serviços* desse objeto. Conexões de instâncias refletem o relacionamento entre objetos.

- *Serviço* – Um *Serviço* (método, operação) é um comportamento específico que um objeto é responsável por exibir. *Conexões de Mensagens* modelam as dependências de

processamento de um objeto, indicando quais serviços ele precisa para cumprir suas responsabilidades.

A primeira fase do método consiste na identificação de *classes* e *objetos*, visando exprimir o domínio do problema e as responsabilidades do sistema. A próxima etapa identifica as estruturas: *Generalização*/*especialização* e *Todo-parte*. A partir daí são identificados os *assuntos*. No modelo OOA, o conceito de assunto é usado para o controle da visibilidade e orientação do leitor ajudando a rever o esquema e resumindo sucintamente os assuntos no domínio do problema. O próximo passo é a identificação dos *atributos* e o último passo é a definição dos *serviços*. A Figura 3.4 apresenta a representação gráfica das primitivas do modelo OOA. Maiores detalhes do OOA podem ser encontrados em [COYO91].

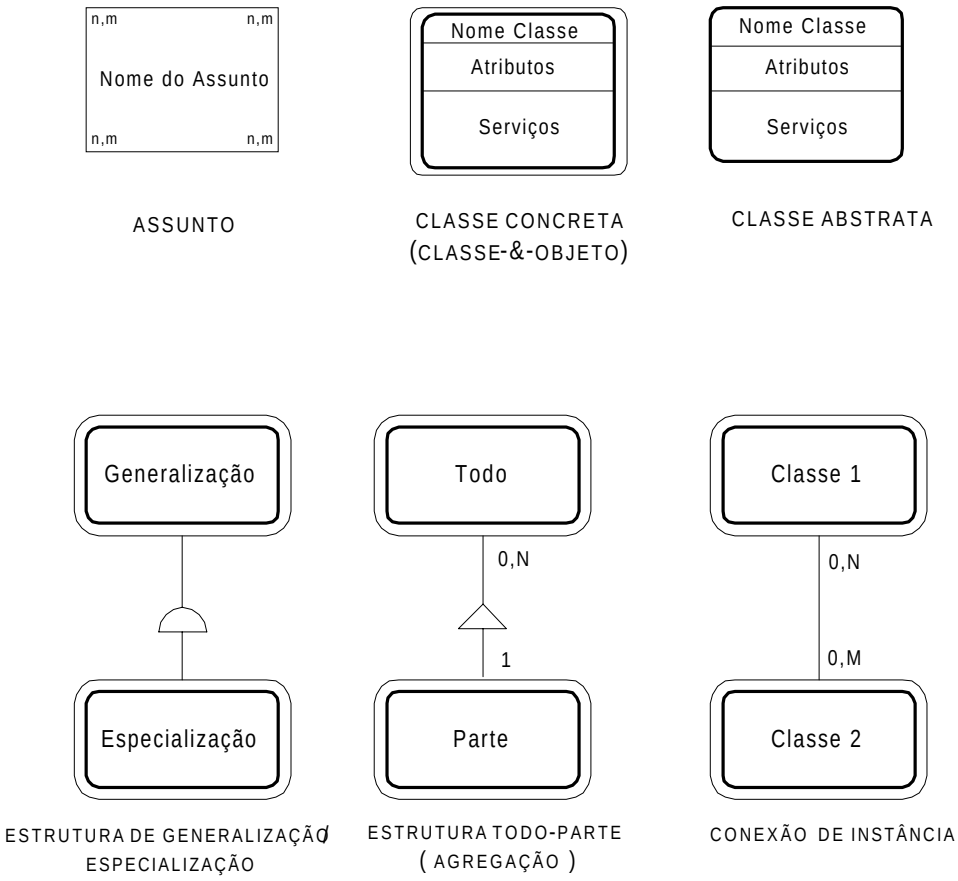


Figura 3.4 – Principais Construtores do Modelo OOA

3.5 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.

Nesta seção, serão descritos, de forma genérica, alguns modelos conceituais propostos para a modelagem de dados geográficos dando assim uma visão global dos seus tipos construtores. As descrições abaixo estão baseadas nas referências indicadas e em [Lisb97]. Outros trabalhos referentes a modelagem de dados geográficos podem ser vistos em [Helo95, FaBo94, Benn96, HaTr96, RoAl94]. Trabalhos com enfoque na modelagem dos aspectos espaço-temporais dos dados geográficos são encontrados em [Shzh95, Tazk95, Reno97, TaAU96, PeDu95, Worb94a].

É importante ressaltar que alguns dos modelos descritos a seguir não constituem um modelo propriamente dito, já que não definem primitivas específicas de modelagem mas apenas, fornecem padrões de modelagem que devem ser seguidos para se modelar as aplicações geográficas.

3.5.1 Modelo Geo-IFO

O modelo Geo-IFO [TrHa95] é uma especialização do IFO [AbHu87] para aplicações espaciais, tendo sido desenvolvido na universidade de Patras, Grécia. Apresenta uma solução genérica para a modelagem de dados geográficos sob as visões de campos e de objetos, utilizando os conceitos de *posição de objetos* e *atributos variando no espaço*. Os objetos do mundo real estão ligados ao espaço através de sua posição. A *posição de um objeto* fornece a sua localização (centróide), forma, tamanho e orientação. Atributos

variando no espaço são propriedades do espaço não pertencendo a nenhum objeto particular (visão de campo).

O modelo GeoIFO apresenta também:

- tipo abstrato *Posição* usado para representar as posições dos objetos no espaço.

- tipo abstrato *Espaço* usado para representar o espaço que contém todos as posições dos objetos.

- *Agregação espacial* usada para representar entidades que contêm atributos espaciais e *agrupamento espacial* usado na formação de entidades complexas.

As *classes* de objetos geográficos representam entidades geográficas e possuem um atributo especial (*está-localizado-em).* Esse atributo é uma função da classe para *Posição* ou uma de suas especializações, denominada de tipos geométricos. A Figura 3.5 mostra a notação gráfica do Modelo GeoIFO

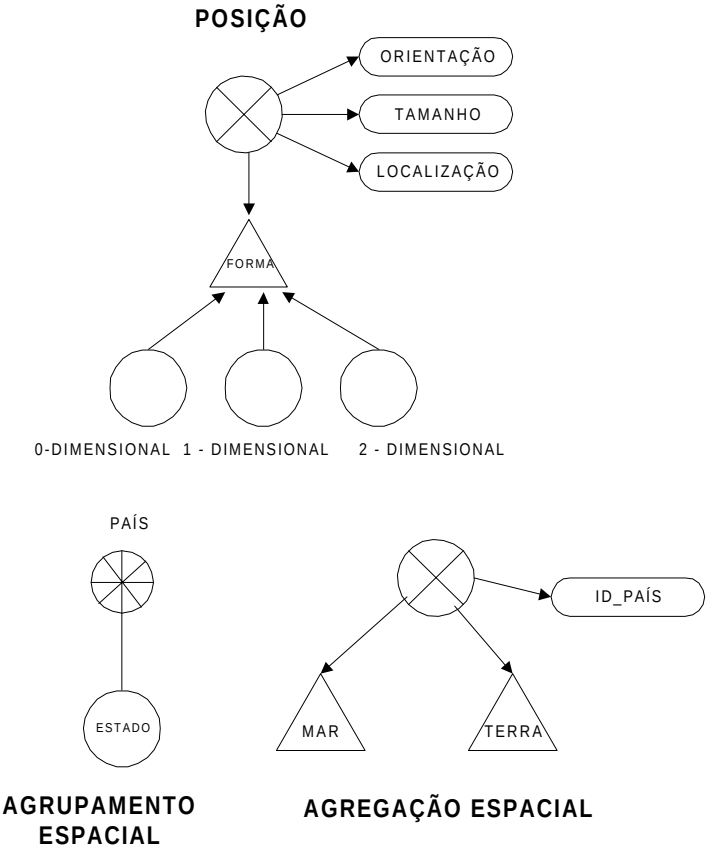
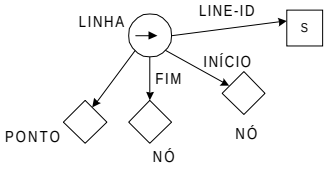


Figura 3.5 – Componentes do Modelo GeoIFO

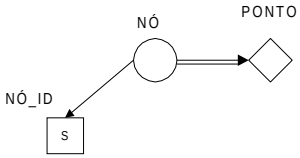
3.5.2 Modelo IFO para Aplicações Geográficas

Em Worboys et al. [WOHM90], encontra-se o modelo IFO adaptado para as aplicações geográficas, representando os tipos básicos de objetos espaciais: ponto, linha e polígono.

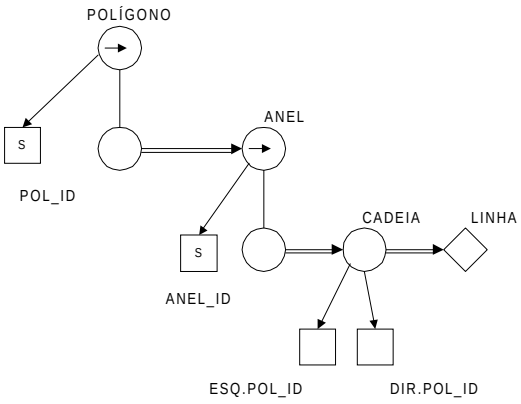
O *Ponto* é um objeto espacial de dimensão zero com coordenadas e um único identificador dentro do mapa. A *Linha* é uma sequência ordenada de pontos, onde o começo e o fim possuem um nó especial (Figura 3.6a). O *Nó* é uma junção ou ponto final de uma ou mais linhas (Figura 3.6b). Uma *Cadeia* é uma linha que é parte de um ou mais polígonos e dessa forma possui lado esquerdo e direito, assim como início e fim (Figura 3.6c). Um *Anel* consiste de uma ou mais cadeias (Figura 3.6c). Um *Polígono* é um conjunto de anéis (Figura 3.6c).



a) LINHA MODELADA NO IFO



b) NÓ MODELADO NO IFO



c) POLÍGONO MODELADO NO IFO

Figura 3.6 – Representação de Nó, Linha e Polígono no Modelo IFO

3.5.3 Modelo MGEO/MGEO$^+$

O modelo MGEO foi proposto por Times e Salgado [TiSa94]. Ele utiliza a notação gráfica do modelo de objetos OMT na definição de um modelo conceitual orientado a objetos para aplicações geográficas. O modelo apresenta uma extensa hierarquia de classes capaz de representar um grande conjunto de requisitos relacionados às aplicações geográficas. As classes de nível mais baixo da hierarquia são categorizadas em função de propriedades descritivas, geométricas e simbólicas. Já as classes de nível mais elevado são agregadas para permitir a definição de qualquer aplicação geográfica com informações na forma vetorial.

[Pime95] estendeu o modelo MGEO chamando-o de MGEO$^+$. O MGEO$^+$ passou a suportar informações na forma matricial. A classe mais genérica do modelo é a *BD_GEO*. Ela representa o conjunto de dados da realidade a ser implementada. A segunda classe dentro da hierarquia do modelo é chamada *Modelo de Representação*. Esta classe define qual a região de estudo e o tipo de projeção adotada. A classe *Plano de Informação* representa uma visão da região em estudo sob determinado tema. A classe *Entidade Geográfica* representa diversas informações com características comuns em um determinado plano de informação. A classe *Propriedades* representa uma característica específica de uma entidade geográfica como descrição, localização espacial e simbologia, representadas respectivamente nas classes *Representação Descritiva*, *Representação Espacial* e *Representação Simbólica*. A Figura 3.7 mostra a hierarquia de classes do modelo MGEO$^+$.

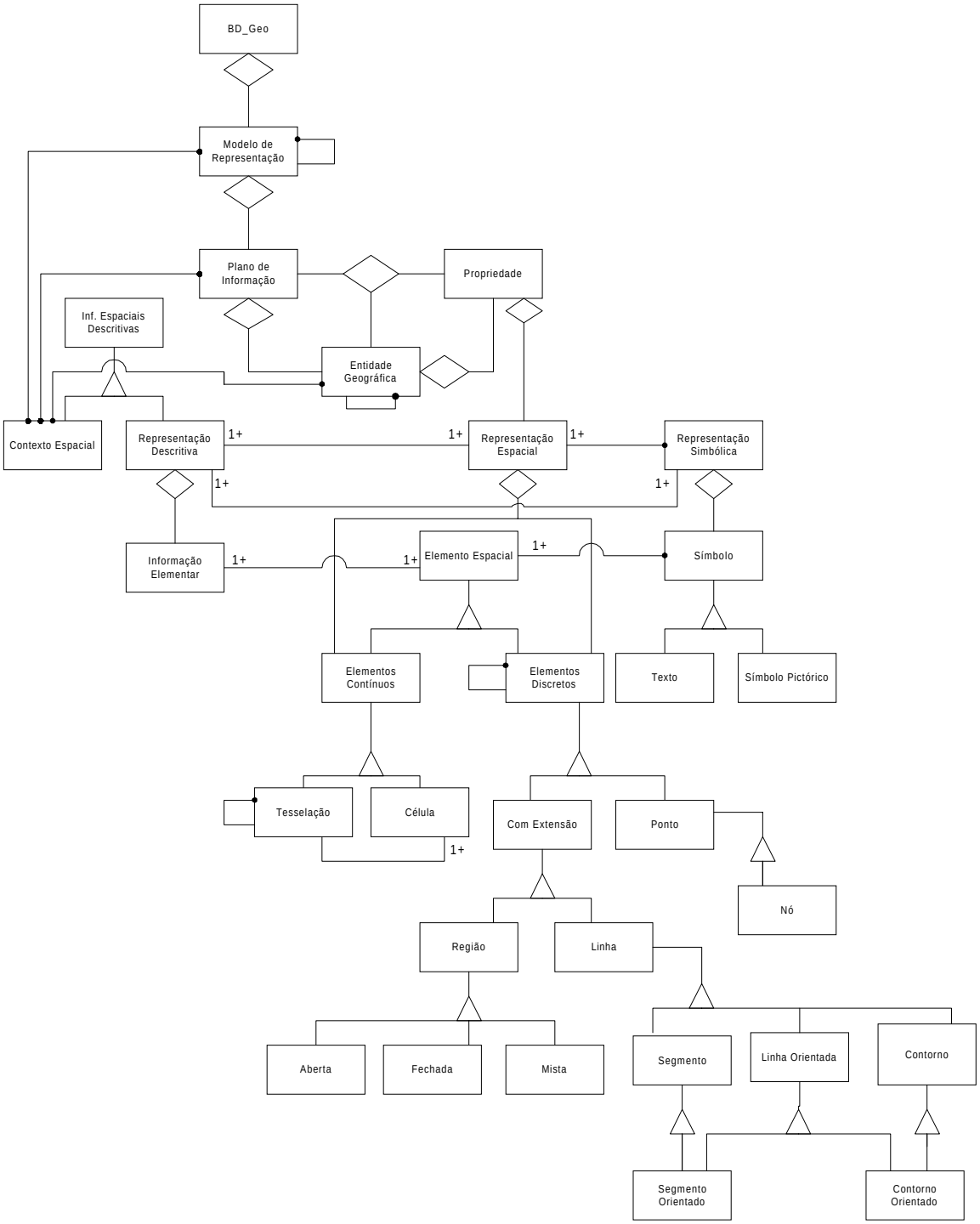


Figura 3.7 – Hierarquia de Classes do Modelo MGEO^{+}

3.5.4 Modelo OMT Estendido

Abrantes e Carapuca [AbCa94] introduziram no modelo de objetos OMT tipos construtores para a representação de partição e cobertura. A *partição* representa regiões subdivididas em outras regiões não sobreposta. A *cobertura* representa uma região que envolve outras. Os tipos construtores *Partição* e *Cobertura* são consideradas agregações envolvendo classes de objetos espaciais com propriedades específicas. As subclasses derivadas de partições ou coberturas são chamadas de classes desconectadas tendo uma representação gráfica diferente. A Figura 3.8 exemplifica a notação das extensões.

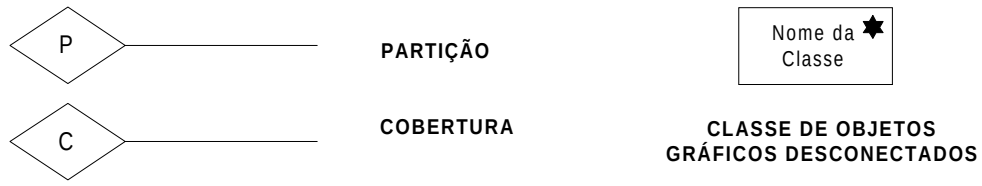


Figura 3.8 – Notação Gráfica da Extensão de [AbCa94]

3.5.5 Modelo Objeto-Relacional

[KaCh95] propõe o modelo de dados objeto-relacional (*object-relational data model)* baseado no modelo de dados relacional e que utiliza os conceitos de orientação a objetos. É proposto um método de estruturação hierárquica usando agrupamento de objetos. Esse método suporta vários conceitos de modelos de dados orientados a objetos e garante a compatibilidade com o modelo de dados relacional. A estrutura hierárquica das informações geográficas incluem estruturas hierárquicas físicas como mapas e camadas (*layers),* e estruturas hierárquicas lógicas definidas para a manutenção efetiva das informações geográficas similares ou dependentes, como distritos administrativos e estradas.

O nível mais baixo do modelo de dados objeto-relacional representa as feições geométricas primitivas (*primitive object*) como pontos, arcos e polígonos. Eles estão logicamente contidos em um *grupo de objetos*. No nível mais alto está a classe *Mapa,* que contém todos os *grupos de objetos* e *camadas* (*layers*). A classe *Camada* está relacionada à parte de implementação física do modelo, agrupando entidades geográficas que possuem as mesmas propriedades como, estradas, rios e divisões administrativas. O modelo também prevê a propagação de atributos entre as feições primitivas (*primitive object)* e os grupos de objetos, sendo que o usuário pode especificar o período e o método de propagação na construção do grupo. A Figura 3.9 mostra a estrutura hierárquica do modelo.

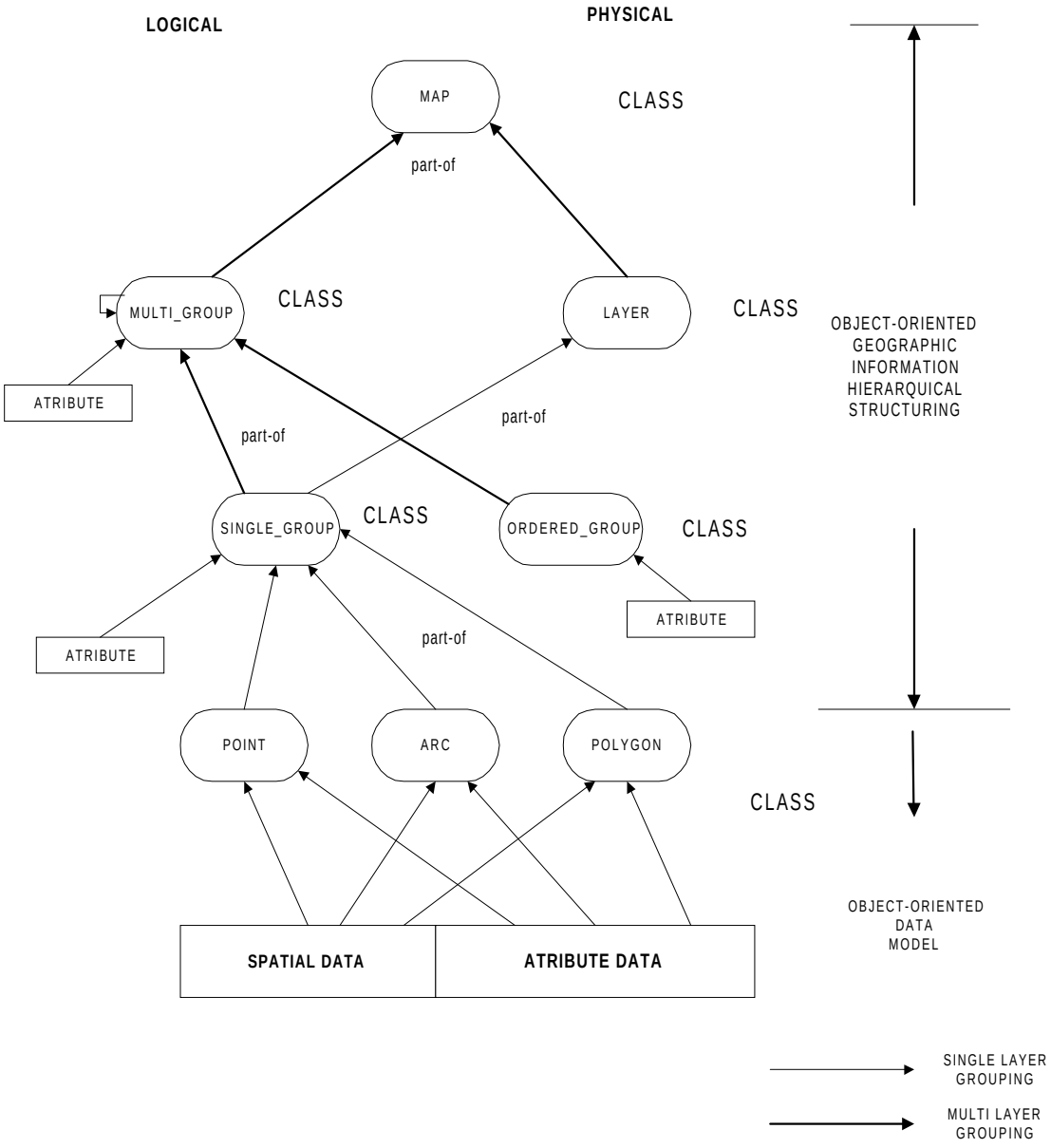


Figura 3.9 - Estrutura Hierárquica do Modelo Objeto-Relacional

3.5.6 Modelo GISER

Em [SCGL97], é proposto um novo modelo chamado *Geographic Information System Entity Relational model* (GISER). Ele é uma extensão do modelo ER para aplicações geográficas utilizando a notação do modelo ER conforme extensão em [ElNa94] e acrescentando linhas pontilhadas na representação de campos contínuos e suas relações *discreted by, display* e *varies over*.

O modelo GISER é baseado em quatro conceitos básicos: *Space-Time, Features, Coverages* e *Spatial Objects*. *Space-time* representa o espaço no qual fenômenos geográficos e eventos podem ocorrer tendo uma posição relativa e uma direção. Representa uma supefície contínua que pode ser discretizada se necessário, como por exemplo, a superfície da terra e seus subconjuntos de interesse. *Features* representam os fenômenos geográficos como rios, vegetação e cidades. As *features* são modeladas no modelo GISER como campos contínuos variando no tempo e espaço como, por exemplo, tipo de solo, altimetria. O modelo GISER torna explícito o fato de que entidades contínuas precisam ser discretizadas para representação dos sistemas de banco de dados. As *features* são discretizadas em elementos denominados *coverage*. Uma *feature* pode ter múltiplas *coverages* que variam com as múltiplas representações do fenômeno geográfico e é modelada usando o relacionamento *varies over*. Uma *coverage* consiste num conjunto de objetos espaciais (*spatial object*) distribuídos no tempo e espaço (*space, time*) e que possuem propriedades geométricas e/ou topológicas. O modelo integra as visões de campos e objetos. A Figura 3.10 mostra o modelo GISER.

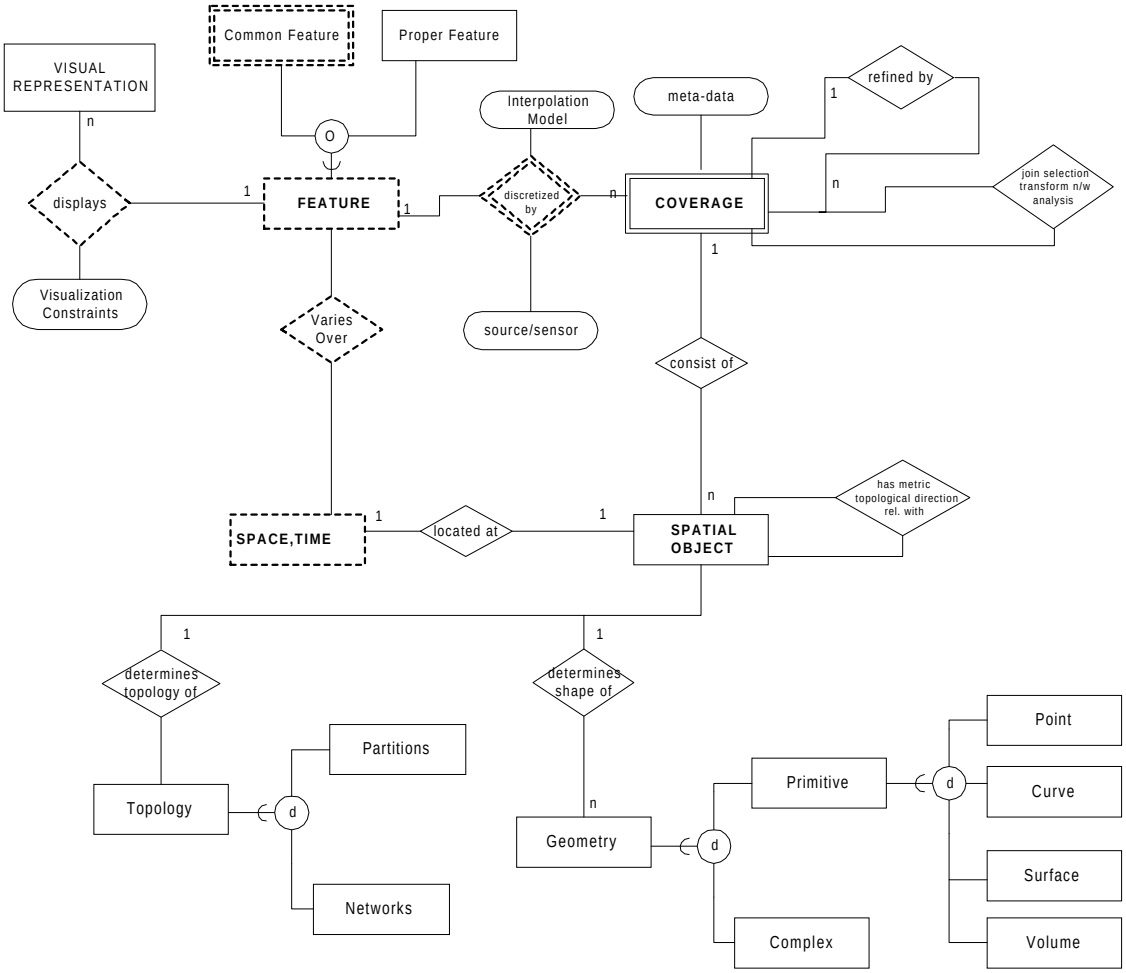


Figura 3.10 – Classes do Modelo GISER

3.5.7 Modelo GeoOAA

O modelo GeoOOA desenvolvido por Kösters et al. [KÖPS95, KÖPS96] na Universidade de Hagen, Alemanha, é uma extensão do método de análise orientada a objetos (OAA) de Coad/Yourdon [COYO91]. As primitivas introduzida pelo modelo GeoOOA suportam as seguintes abstrações: tipos de classe espacial, estruturas topológicas "todo-parte" e estruturas de rede. O GeoOAA distingue entidades com e sem representação espacial e suporta um conjunto fixo de tipos geométricos utilizando pictogramas que distinguem dentro da classe georreferenciada (*geoclass*) classes do tipo *ponto*, *linha*, *polígono* e *raster* (Figura 3.11). As classes sem propriedades gráficas são modeladas como uma classe *convencional* (Figura 3.11).

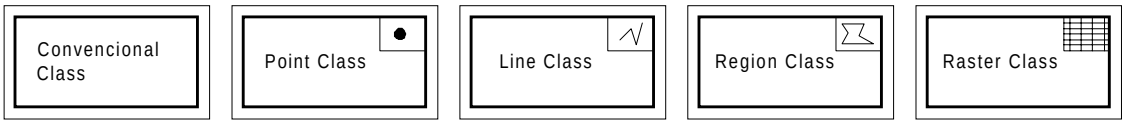


Figura 3.11 – GeoClasses do Modelo GeoOOA

As primitivas de agregação espacial são referenciadas como estruturas topológicas "todo-parte" e são usadas para modelar o relacionamento topológico entre o todo e suas partes. As estruturas "todo-parte" são divididas nas seguintes estruturas: *coverage, containment* e *partition* (Figura 3.12). Na estrutura *coverage*, o todo e suas partes possuem a mesma representação gráfica e a geometria do todo é coberta pela união da geometria de suas partes. Na estrutura *containment*, a geometria do todo contém a geometria de suas partes. A estrutura *partition* é a estrutura *containment* com duas propriedades adicionais: o todo e as suas partes possuem a mesma representação geométrica e a geometria das partes forma uma divisão da geometria do todo.

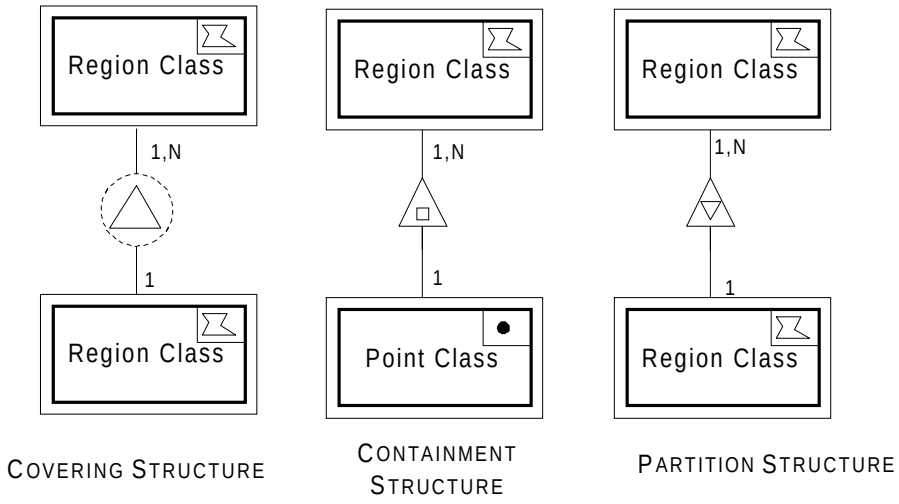


Figura 3.12 - Primitivas de Agregação Espacial

Como as aplicações de gerenciamento de redes apresentam características próprias, devido à necessidade de representar as relações topológicas de conectividade existentes entre os elementos da rede, o modelo GeoOOA apresenta primitivas para representar a classe *nó*, a classe *ligação* e a classe que representa a rede como um todo. Também são usados pictogramas para representar as classes participantes da estrutura de rede (Figura 3.13).

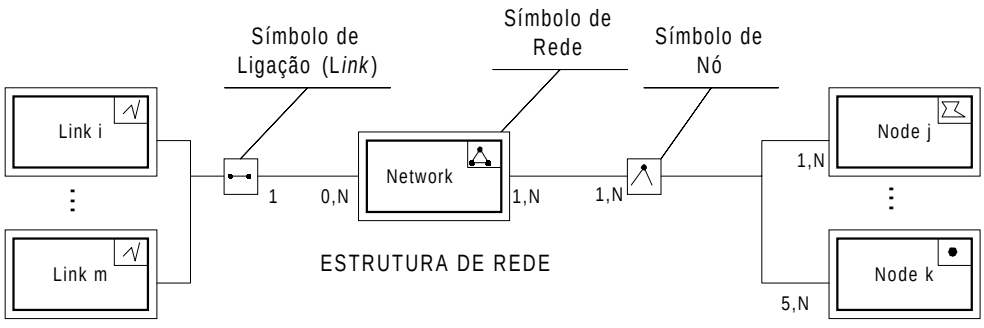


Figura 3.13 – Estrutura de Rede no Modelo GeoOOA

O modelo GeoOOA distingue classes temporais e classes não-temporais e representa o relacionamento temporal entre essas classes, indicando qual classe é descendente e as circustâncias de sua criação (Figura 3.14)

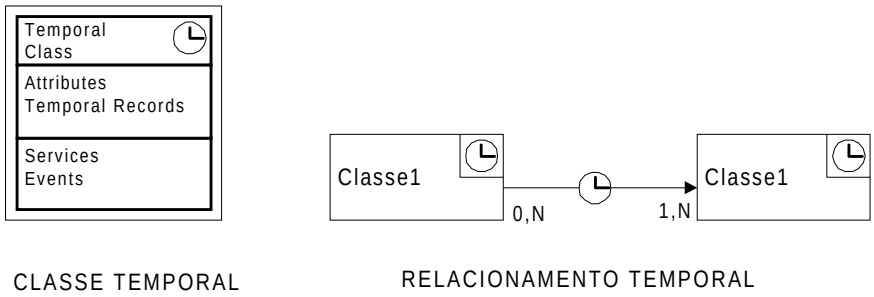


Figura 3.14 – Classe Temporal e Relacionamento Temporal no Modelo GeoOOA

3.5.8 Modelo GMOD

GMOD [OlPM97] é um modelo orientado a objetos proposto no ambiente de desenvolvimento de aplicações geográficas denominado UAPÉ (*geo-User Analysis and Project Environment*). Esse ambiente computacional integra modelagem de dados e processos utilizando tecnologias de engenharia de *software* e bancos dados, tendo sido desenvolvido na Universidade de Campinas.

GMOD é uma extensão do modelo descrito em [CFSC94] permitindo a definição de fenômenos georreferenciados de acordo com as visões de campos e objetos. No modelo descrito em [CFSC94], foram adicionadas primitivas para a modelagem da dimensão temporal e relacionamentos entre entidades.

GMOD é dividido nos quatro níveis de abstração citados na Seção 3.4: nível do mundo real, nível conceitual, nível de representação e nível de implementação.

O modelo é baseado em três conceitos básicos: *classes*, como nos modelos orientados a objetos; *relacionamentos*, que permite a conexão das classes; *restrições*, que são impostas sobre classes, relacionamentos ou instâncias. Se necessário, uma classe ou relacionamento pode ser definido como temporal.

A estrutura de classes do GMOD é basicamente a proposta em [CFSC94] apresentando duas classes básicas: *Geo-Classe* e *Classe Convencional*. As *Geo-Classes* representam entidades que possuem uma localização geográfica e as *Classes Convencionais* representam entidades do mundo real que não são georreferenciadas. As *Geo-Classes* são especializadas em classes do tipo *Geo-Campo* e *Geo-Objeto*, representando respectivamente as visões de campos e objetos. A classe do tipo *Geo-Campo* é especializada em subclasses *Temático*, *Numérico* e *Dado Sensor Remoto* refletindo as fontes de dados mais comuns encontradas em aplicações ambientais.

No Nível de representação, as classes pertencem a duas hierarquias principais: *RepObjeto* e *RepCampo.* A classe do tipo *RepObjeto* é especializada em subclasses cujas

instâncias possuem atributos onde os valores são elementos geométricos simples: pontos, linhas e polígonos. A classe do tipo *RepCampo* é especializada em subclasses correspondentes aos mais frequentes modelos de representação*: Grid, Trinet, Countour, PlanarSubdivison* e *PointSample*. O modelo GMOD possui uma classe, denominada *Representa*, que permite associar as instâncias das classes do tipo *Geo-Classe* com suas representações, na forma de um relacionamento muitos-para-muitos, possibilitando a uma instância ter várias representações.

O modelo GMOD permite que as *Geo-Classes* e as classes *Convencionais* sejam definidas como sendo temporais, através da associação com a classe *Tempo*. A classe *Tempo* é especializada em subclasses que distinguem os tipos característicos do tempo como, discreto ou contínuo, variação linear ou intervalar.

GMOD representa os relacionamentos de generalização/especialização, agregação, associação, versão e causal. Relacionamentos de versão são usados para associar diferentes versões de uma mesma entidade, podendo ser usada para relacionar diferentes representações espaciais de uma mesma entidade geográfica ou para associar objetos que registram a evolução temporal dos fenômenos geográficos. Um relacionamento causal estabelece uma relação de causa-efeito entre dois fenômenos modelados. A Figura 3.15 mostra a hierarquia de classes do modelo GMOD. As classes sombreadas são utilizadas para dar suporte ao método de projeto do ambiente UAPÉ. As classes dentro de retângulo tracejado formam a base do nível conceitual do GMOD.

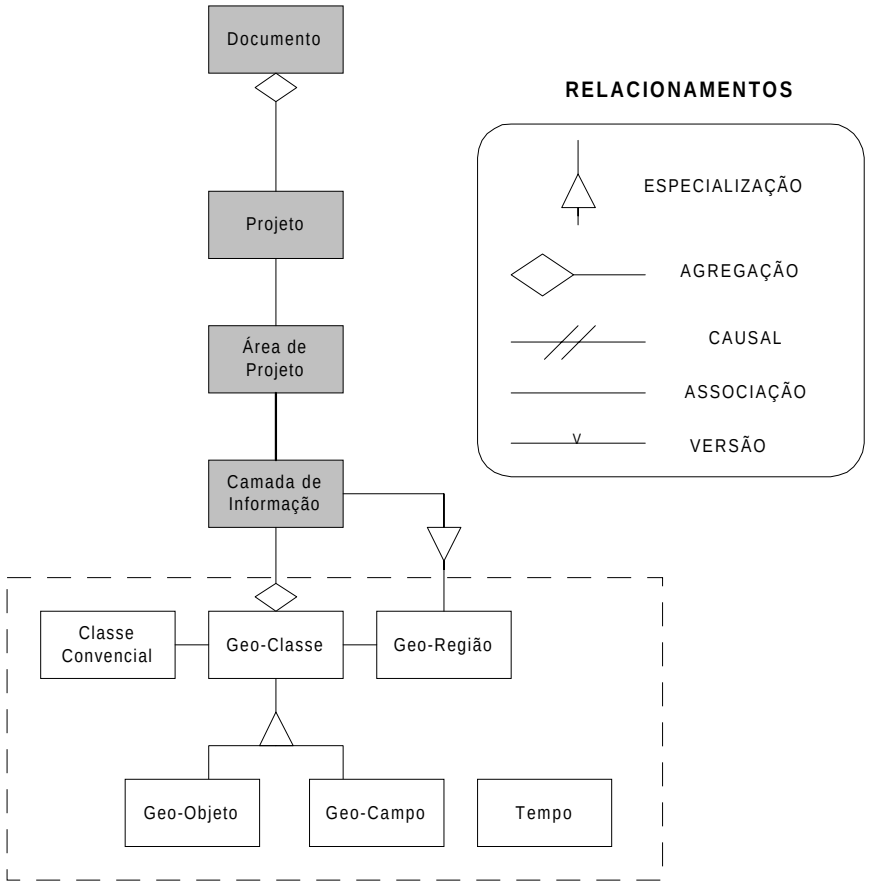


Figura 3.15 – Hierarquia de Classes no Modelo GMOD

3.5.9 MODUL-R

O modelo MODUL-R foi desenvolvido por Caron e Bédard [CaBe93] na Universidade de Laval, Canadá, sendo uma extensão do modelo usado pelo método MERISE [TaRC86] e sendo voltada para aplicações geográficas urbanas. O modelo MODUL-R teve como base o trabalho de Bédard e Paquette [BePa89, BeGv94] e na sua mais nova versão [BCMM96, BeGV94] apresenta primitivas para representar agregação, especialização e generalização. O Modelo MODUL-R é baseado na estrutura modular representada na Figura 3.16.

Figura 3.16- Estrutura Modular

No módulo *Conceitos Atômicos*, as entidade, relacionamentos e atributos são definidos de forma análoga à utilizada no método MERISE. Cardinalidade e dependência funcional são adicionados a esses conceitos. No módulo *Hierarquia Semântica*, os conceitos de *agregação*, *especialização* e *generalização* seguem os conceitos da orientação a objetos. O módulo *Referência Espacial* define os tipos geométricos das

entidades espaciais modeladas. *Entidades geométricas* são consideradas como um conjunto de sub-modelos os quais são substituídos por pictogramas (Figura 3.17.a). Esses pictogramas aparecem na notação gráfica, à esquerda do nome da entidade, que pode ser *simples*, quando possui apenas uma forma geométrica; *complexa*, quando possui simultaneamente várias geometrias (agregação espacial), *alternativa*, quando possui ocorrências que podem ser representadas por diferentes tipos geométricos mas somente um tipo é válido por vez, e *múltipla*, quando possui duas ou várias formas geométricas não dedutíveis, para uma mesma ocorrência (Figura 3.17b).

O módulo *Referência Temporal* define os tipos de gerenciamento temporal e as formas temporais (instante e duração). O modelo possui pictogramas de referência temporal que representam *existência*, *presença* e *função* para as entidades, e pictogramas temporais de evolução para os atributos (Figura 3.17c). A *presença* informa quando uma entidade é fisicamente presente ou ausente no território gerenciado (exemplo, veículos de emergência) e a *função* mostra quando uma entidade é ativa ou inativa (exemplo, pistas reservadas para ônibus na hora de *rush*).

O módulo *Metadados* fornece a descrição completa de todas as entidades, atributos e relacionamentos.

O módulo *Nível de Abstração* é usado para simplificar a compreensão do esquema, possuindo os seguintes componentes semânticos: temas, relacionamentos, entidades e super-entidades.

Segundo Caron e Bédard [CaBe93, BePa89], em uma aplicação urbana, aproximadamente 70-80% das entidades possuem uma posição geográfica e uma forma geométrica que devem ser armazenadas no banco de dados. O uso de pictogramas nas entidades que possuem referência espacial faz com que o esquema fique menos denso e, portanto, mais legível.

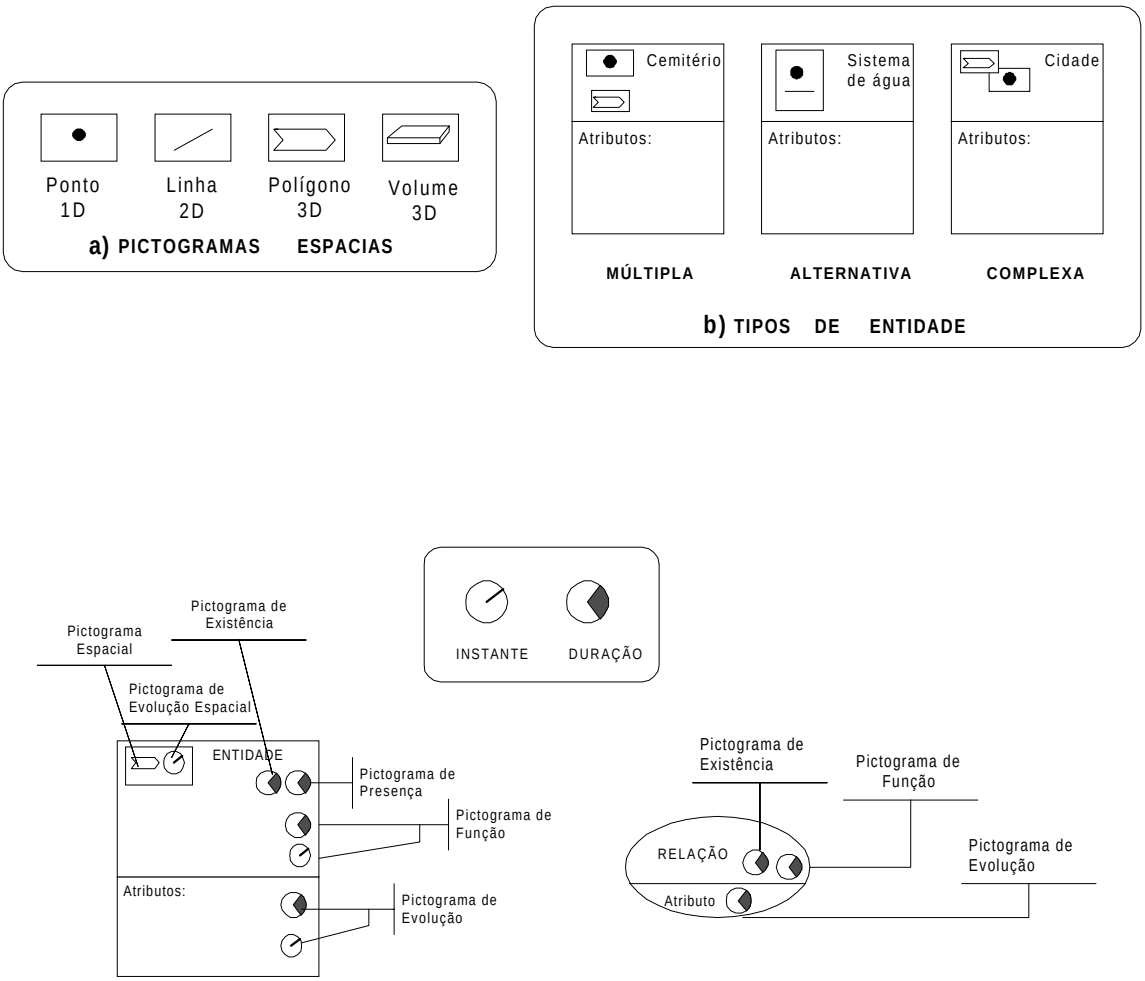


Figura 3.17 – Construtores do Modelo MODUL-R

3.5 Comparação entre os Modelos de Dados para Aplicações Geográfica

Esta seção apresenta uma análise comparativa entre os modelos de dados descritos neste capítulo, com base nos requisitos necessários às aplicações geográficas. Em Lisboa [Lisb97] encontramos uma comparação entre alguns modelos de dados para aplicações

geográficas abordando os aspectos referentes a facilidade de representação, em alto nível de abstração, dos requisitos espaciais impostos por essas aplicações. Nossa abordagem segue a mesma proposta por Lisboa, objetivando comparar as facilidades de modelagem oferecidas pelos modelos descritos.

A comparação apresentada é baseada nas referências citadas na descrição dos modelos e nas observações de [Lisb97].

	MODELOS DE DADOS GEOGRÁFICOS								
	GEO-IFO	EXT. IFO	MGEO+	OMT EXT.	OBJ-REL	GISER	GEO OOA	MODULO-R	GMOD
1. Representa a Visão de Campo	X		X			X			X
2. Representa a Visão de Objetos	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3. Diferencia relações espaciais das associações									
4. Suporta relações de agregação	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5. Possui primitivas para agregação espacial “todo-parte”				X			X		
6 Representa relação topológica de conectividade						X	X		
7. Possui primitivas para representar classes Georreferenciadas e classes Convencionais.							X	X	
8. Múltiplas representações			X			X		X	X
9. Temporalidade dos dados geográficos						X	X	X	X

Tabela 3.1 – Requisitos das Aplicações Geográficas X Modelos de Dados Geográficos

A representação da visão de objetos é comum a todos os modelos de dados descritos, devido à preocupação com a representação geométrica vetorial. No entanto, apenas os modelos GeoIFO, MGEO$^+$, GISER e GMOD representam a visão de campos. Os modelos MODUL-R e GeoOOA usam pictogramas na representação da visão de objetos eliminando o relacionamento com classes que descrevem a geometria das entidades geográficas.

Nenhum dos modelos diferencia de forma explícita as relações espaciais das associações simples. Apenas pelo nome da relação ou pelas classes às quais elas estão associadas, diferencia-se os dois tipos de associação.

Todos os modelos suportam agregação, podendo representar objetos complexos.

Os modelos GeoOOA e a extensão do OMT proposta em [AbCa94] apresentam primitivas específicas para a representação de relacionamentos estruturais “todo-parte”, tornando explícitos os relacionamentos de subdivisão, cobertura e pertinência.

O modelo GeoOAA representa os relacionamentos de estruturas topológicas de conectividade de forma explícita, através de primitivas específicas para essa representação. Já o modelo GISER representa esse aspecto indiretamente, através de um relacionamento denominado *determines topology of* entre a entidade representada e a entidade chamada *Connected Graph.* Os outros modelos não fazem essa distinção, modelando os aspectos topológicos através de relacionamentos convencionais, o que dificulta a compreensão do esquema.

Apenas os modelos MODUL-R e GeoOOA apresentam primitivas específicas para a representação de classes georreferenciadas e classes convencionais. Dessa forma, fica mais clara a identificação visual dessas classes.

A representação das múltiplas formas de se visualizar uma entidade geográfica é possível nos modelos GISER, GMOD e MGEO$^+$. “Os Modelos GMOD e MGEO$^+$ propõem que a modelagem dos objetos gráficos seja feita como atributo do relacionamento entre a entidade geográfica e o mapa de representação” [Lisb97]. O

modelo GMOD só introduz esse relacionamento no esquema da aplicação no nível de representação. O modelo GMOD utiliza também o relacionamento *versão* para relacionar diferentes representações espaciais de uma mesma entidade geográfica. Já no modelo MGEO^{+}, os objetos gráficos são agrupados no plano simbologia, onde é feito o relacionamento entre cada objeto gráfico e um objeto espacial pertencente ao plano geométrico. No modelo GISER, a representação geométrica é feita através de um relacionamento chamado *determines shape of* e a entidade *Geometry*, a qual determina a forma geométrica. Apenas o modelo MODUL-R apresenta as múltiplas representações de uma entidade geográfica de forma explícita, através da presença de pictogramas na notação gráfica da entidade.

Apesar da temporalidade ser um aspecto inerente a qualquer informação geográfica, apenas os modelos GISER, GeoOOA, MODUL-R e GMOD apresentam mecanismos para a modelagem dos aspectos temporais. No modelo GMOD, uma classe temporal é associada a uma classe *Tempo*. O modelo GMOD representa também relacionamentos de *versão* para associar objetos que registram a evolução temporal dos fenômenos geográficos. No modelo GISER, o aspecto temporal é representado pelo relacionamento com a entidade pré-definida chamada *Space-Time*. O modelo MODUL-R apresenta pictogramas para a representação da característica temporal tanto da entidade geográfica e de seus atributos quanto das relações. O modelo GeoOOA também apresenta pictogramas para a representação de classes e relacionamentos temporais. Os aspectos temporais são abordados de forma superficial nos modelos abordados. No modelo MODUL-R, as característica temporais estão mais detalhadas. Segundo Lisboa [Lisb97], devido a limitações decorrentes dos SIGs disponíveis atualmente, os aspectos temporais têm sido negligenciados.

Os modelos MODUL-R e GeoOOA, ao estenderem o formalismo gráfico dos modelos ER e OOA, acrescentando pictogramas que representam a forma gráfica da entidade geográfica, eliminam os relacionamentos entre classes georreferenciadas e classes de objetos espaciais, diminuindo assim, o número de relacionamentos, de modo que o esquema resultante fica menor e mais claro.

Os modelos GISER, GMOD, Objeto-Relacional e MGEO^{+} não adicionam novas primitivas aos modelos usados como base da extensão. Entre eles, apenas o modelo GMOD introduz novos tipos de relacionamentos entre as classes.

CAPÍTULO 4

Modelo de Dados Geográficos Geo-OMT

4.1 Introdução

Observando os aspectos considerados no Capítulo 3 quanto à complexidade das aplicações geográficas e os requisitos desejáveis para um modelo de dados geográfico, propomos neste capítulo o modelo Geo-OMT. Nele, procuramos agrupar de forma unificada as primitivas geográficas propostas por diversos autores [KÖPS96, KÖPS95, PEBS97, BCMM96, OLPM97, CABE93, SCGL97, KACH95, ABCA94, CAMA95, CCHM96], além de introduzir novas primitivas que suprem algumas deficiências percebidas, como a representação de múltiplas visões das entidades geográficas. A opção de estender o modelo de objetos OMT [RBPE91], se deu devido à sua capacidade de representar os aspectos semânticos de uma aplicação, em função de adotar a abordagem de orientação a objetos e, também, ao seu amplo uso na modelagem de aplicações geográficas [LIIO96, ABCA94, TISA94, BCMM96, OLPM97, BENN96, RENO97].

A partir das primitivas do modelo OMT convencional, foram introduzidas primitivas geográficas que aumentam sua capacidade semântica, diminuindo a distância entre o

modelo mental do espaço a ser modelado e o modelo de representação normalmente utilizado. Desta forma, o Geo-OMT fornece primitivas para modelar a geometria e a topologia dos dados geográficos, suportando estruturas topológicas “todo-parte”, estruturas de rede, múltiplas visões dos objetos e relacionamentos espaciais. Além disso, o modelo permite a diferenciação entre atributos gráficos e alfanuméricos, e a especificação de métodos associados às classes. Destacam-se no modelo a sua expressividade gráfica e a sua capacidade de representação, já que considerações textuais são substituídas por relacionamentos explícitos, representando a dinâmica de interação entre os vários objetos de natureza espacial ou não. Conforme [Nava92], a idéia fundamental ao se estender um modelo de dados é enriquecê-lo, de maneira a torná-lo capaz de suportar novos conceitos de abstração.

4.2 Características do modelo Geo-OMT

O modelo Geo-OMT apresenta as seguintes características:

- segue o paradigma de orientação a objetos suportando os conceitos de classe, herança, objeto complexo e método;

- representa e diferencia os diversos tipos de dados envolvidos nas aplicações geográficas, fazendo uso de uma representação simbólica que possibilita a percepção imediata da natureza do dado, eliminando assim, a extensa classe de hierarquias utilizada para representar a geometria e a topologia dos objetos espaciais;

- fornece uma visão integrada do espaço modelado, representando e diferenciando classes com representação gráfica (georreferenciadas) e classes convencionais (não-espaciais), assim como os diferentes tipos de relacionamento entre elas;

- caracteriza as classes em contínuas e discretas, utilizando os conceitos de “visão de campos” e “visão de objetos” introduzidos por Goodchild [FrGo90, Good92];

- representa a dinâmica da interação entre os vários objetos, explicitando tanto as relações espaciais como as associações simples;

- representa as estruturas topológicas “todo-parte” e de rede;

- formaliza as possíveis relações espaciais, levando em consideração a forma geométrica da classe;

- traduz as relações topológicas e espaciais em restrições de integridade espaciais;

- representa os diversos fenômenos geográficos, utilizando conceitos natos que o ser humano tem sobre dados espaciais;

- possibilita a representação de múltiplas visões de uma mesma classe geográfica, tanto baseada em variações de escala, quanto nas várias formas de se perceber o mesmo objeto no mundo real;

- é de fácil visualização e entendimento, pois utiliza basicamente os mesmos tipos construtores definidos no modelo OMT;

- não utiliza o conceito de camadas e sim o de níveis de informação (temas), não limitando o aparecimento de uma classe geográfica em apenas um nível de informação;

- é independente de implementação.

O modelo Geo-OMT é baseado em três conceitos principais: classes, relacionamentos e restrições de integridade espaciais. Nas seções seguintes esses conceitos serão detalhados.

4.3 Classes Básicas

A estrutura das classes básicas do Geo-OMT é basicamente a mesma proposta em [KÖPS96, KÖPS95, OlPM97, Cama95, CCHM96]. Suas classes básicas são: *Classes Georreferenciadas* e *Classes Convencionais* (Figura 4.1). 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.

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.

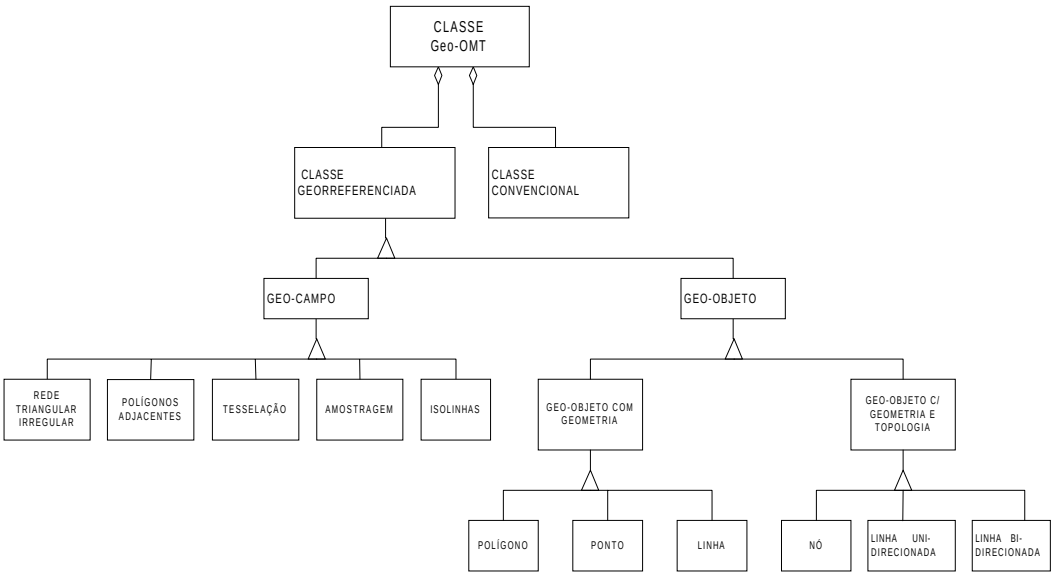


Figura 4.1- Meta Modelo Parcial do Modelo Geo-OMT

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 Geo-OMT 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.

De acordo com o modelo Geo-OMT, 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. Segundo Lisboa e Iochpe [LiIo96], 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. 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 geométrica[2] que descreve a classe [BEPA89]. Os pictogramas de um *Geo-objeto* estão exemplificados na Figura 4.2. O ponto representa um símbolo, a linha representa segmentos de reta formados por uma linha simples, um arco ou por uma polilinha, e o polígono representa uma área. O uso de símbolos gráficos (pictogramas) que definem a natureza geométrica da classe modelada também é utilizado em [KÖPS96, KÖPS95, BCMM96, BEPA89]. A *simplificação de esquema por substituição simbólica*, conforme é chamado em [LIIO96], está exemplificada na Figura 4.3.

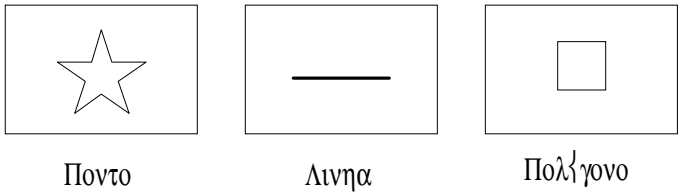


Figura 4.2 - Pictogramas da Classe *Geo-Objeto*

Nas aplicações urbanas, esta simplificação pode ser facilmente percebida devido à grande quantidade de entidades do mundo real presentes em um esquema da aplicação.

Na Figura 4.3, está exemplificada a *simplificação por substituição simbólica*. Uma rua possui pelo menos um trecho, que é definido por pelo menos dois pontos. A quadra é um polígono, definido pelo menos por três segmentos. Com a substituição simbólica, o nível de abstração é bem mais elevado. O trecho passa a ser visto como um objeto linha e a quadra como um polígono. O fato do trecho ser definido por dois pontos já é parte da sua definição geométrica. A definição simbólica da quadra já identifica que é um polígono formado por pelo menos três segmentos e que cada segmento possui dois vértices. Além das vantagens acima citadas, o uso da simbologia tornam mais claros e consistentes as relações espaciais entre as classes. Só para exemplificar, citamos a relação *"dentro de"* que implica que uma das classes deve ser do tipo Polígono ou

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

Polígono Adjacente. Também nos casos de múltiplas representações, fica explícito com qual das formas da entidade geográfica um relacionamento é estabelecido. A Seção 4.8 aborda com mais detalhes este aspecto.

Uma *Classe Georreferenciada* é representada graficamente por um retângulo, subdividido em quatro partes. A parte superior contém à direita o nome da classe e à esquerda o símbolo representando a forma gráfica da *Classe Georreferenciada*. Na segunda parte, aparece a lista dos atributos gráficos na terceira parte, a lista dos atributos alfanuméricos (quando existirem) e, na última parte, a lista das operações que são aplicadas à classe. Uma *Classe Georreferenciada* poderá conter ou não atributos alfanuméricos. No entanto, terá sempre o atributo gráfico de localização. Uma representação simplificada poderá ser utilizada, considerando apenas uma subdivisão do retângulo, contendo o nome da classe e a sua representação simbólica (Figura 4.4a).

A notação gráfica utilizada para *Classes Convencionais* corresponde à notação usada no modelo OMT [RBPE91, Rumb96]. Uma classe é representada graficamente por um retângulo subdividido em três partes contendo, respectivamente, o nome da classe, a lista dos atributos alfanuméricos e a lista das operações que são aplicadas à classe. A forma simplificada utilizada é o retângulo contendo apenas o nome da classe (Figura 4.4b).

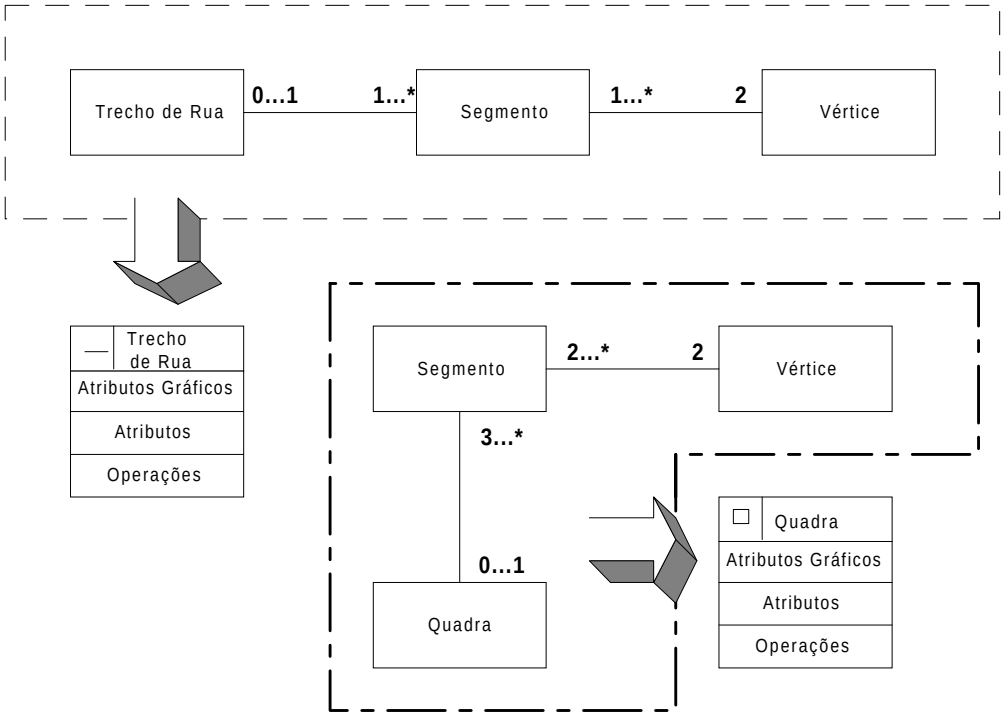


Figura 4.3 – Exemplo de Simplificação por Substituição Simbólica

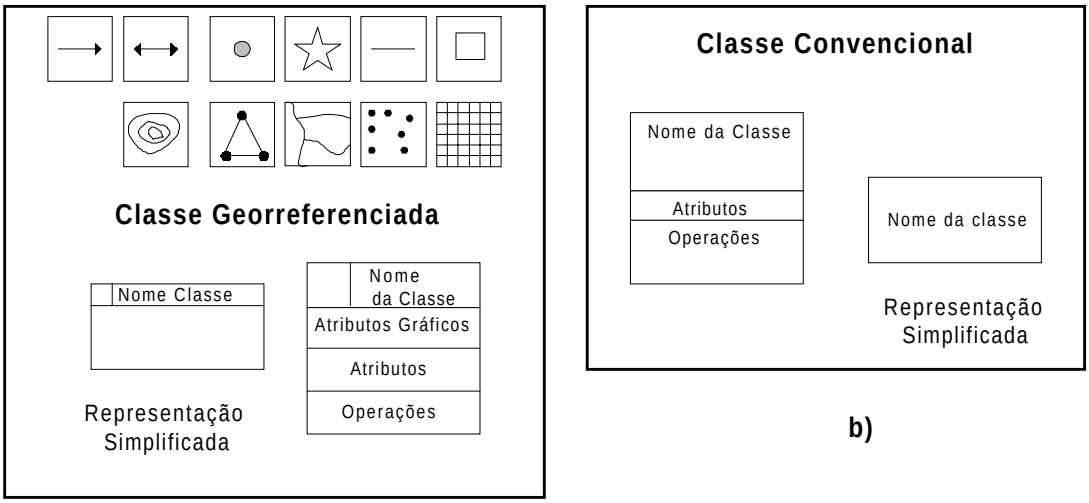


Figura 4.4 - Notação Gráfica das Classes Básicas

Seguindo o modelo OMT, tanto para *Classe Georreferenciadas* quanto para *Classes Convencionais,* o nome de um atributo gráfico ou alfanumérico poderá ser seguido por detalhes opcionais como tipos e valores-*default*. Cada nome de operação também poderá ser seguido por detalhes opcionais como lista de argumentos e valores.

Todo esquema de uma aplicação deve conter a classe que representa o domínio espacial a ser modelado. Ela deverá vir localizada na parte mais alta do esquema, em posição destacada, podendo conter atributos gráficos como sistema de coordenadas, projeção cartográfica e *datum*. Todas as classes modeladas no esquema estarão totalmente contidas nela. Sua existência poderá ser real, como na modelagem de municípios onde a divisa de cada município é um polígono que envolve todo o espaço modelado, ou poderá ser abstrata, apenas representando a delimitação do espaço modelado, como por exemplo, nos casos de municípios que além da parte territorial possuem ilhas.

4.3.1 Geo-Campo

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 4.5).

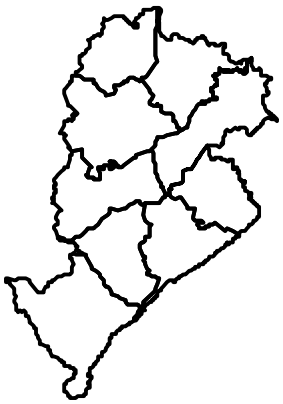


Figura 4.5 – Administrações Regionais de Belo Horizonte

O modelo Geo-OMT possui cinco classes do tipo *Geo-Campo: Isolinhas, Polígonos Adjacentes, Tessselação, Amostragem* e *Rede Triangular Irregular*. Cada uma dessas classes possui um padrão simbólico de representação (Figura 4.6).

De acordo com os níveis de especificação de aplicações geográficas [CCHM96] apresentado no Capítulo 3, a especialização da classe *Geo-Campo* corresponde ao nível de representação.

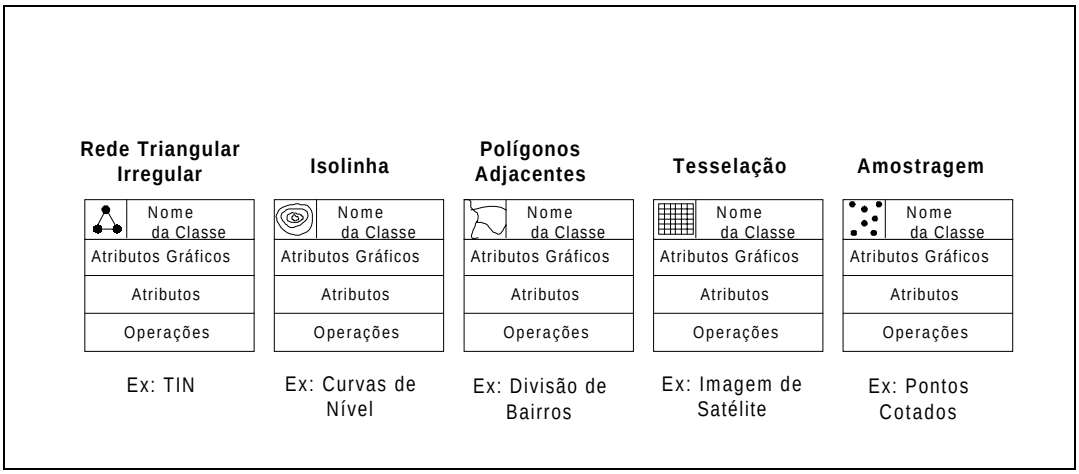


Figura 4.6 – *Geo-Campos*

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 4.6).

- *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 4.6).

- *Subclasse Polígonos Adjacentes* - 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 4.6).

- *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 4.6).

- *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 4.6)

Atributos Espaciais

Segundo [CCHM96], os atributos espaciais obrigatórios de uma classe do tipo *Geo-Campo* são: localização, contradomínio e mapeamento. O significado desses atributos é o seguinte:

- *Localização* - descreve uma geo-região R, chamada de *localização* da instância;
- *Contradomínio* - descreve um conjunto de valores V que uma instância pode assumir. Chamado de *contradomínio* da instância;
- *Mapeamento* - descreve uma função f: R → V, chamada de *mapeamento* da instância, modelando um campo geográfico sobre R que toma valores em V.

4.3.2 Geo-Objeto

O modelo Geo-OMT possui duas classes do tipo *Geo-Objeto*: G*eo-Objeto com Geometria* e G*eo-Objeto com Geometria e Topologia.* Cada uma dessas classes possui um padrão simbólico de representação. A Figura 4.7 resume a notação utilizada para classes do tipo *Geo-Objeto*.

Uma classe do tipo G*eo-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].

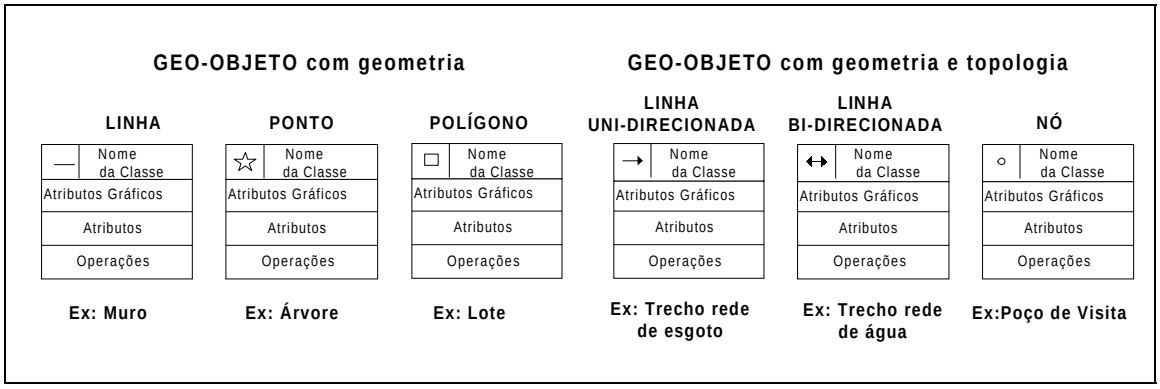


Figura 4.7- *Geo-Objetos*

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 4.7).

- *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 4.7).

- *Subclasse Linha* - representa objetos lineares sem exigência de conectividade. Como exemplo podemos citar a representação de muros, cercas e meio-fios (Figura 4.7).

- *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 4.7).

- *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 4.7).

- *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 4.7).

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.

Atributos Espaciais

Segundo [CCHM96], o atributo espacial obrigatório de uma classe *Geo-Objeto* é a localização. A localização de uma instância da classe *Geo-Objeto* pode ser explicitamente armazenada ou computada [CCHM96].

A Figura 4.8 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 *Geo-Objeto* do tipo Ponto e a Área de Referência é uma Classe *Geo-Objeto* do tipo Polígono. A Classe Divisa Municipal é um *Geo-Campo* do tipo Polígono Adjacente.

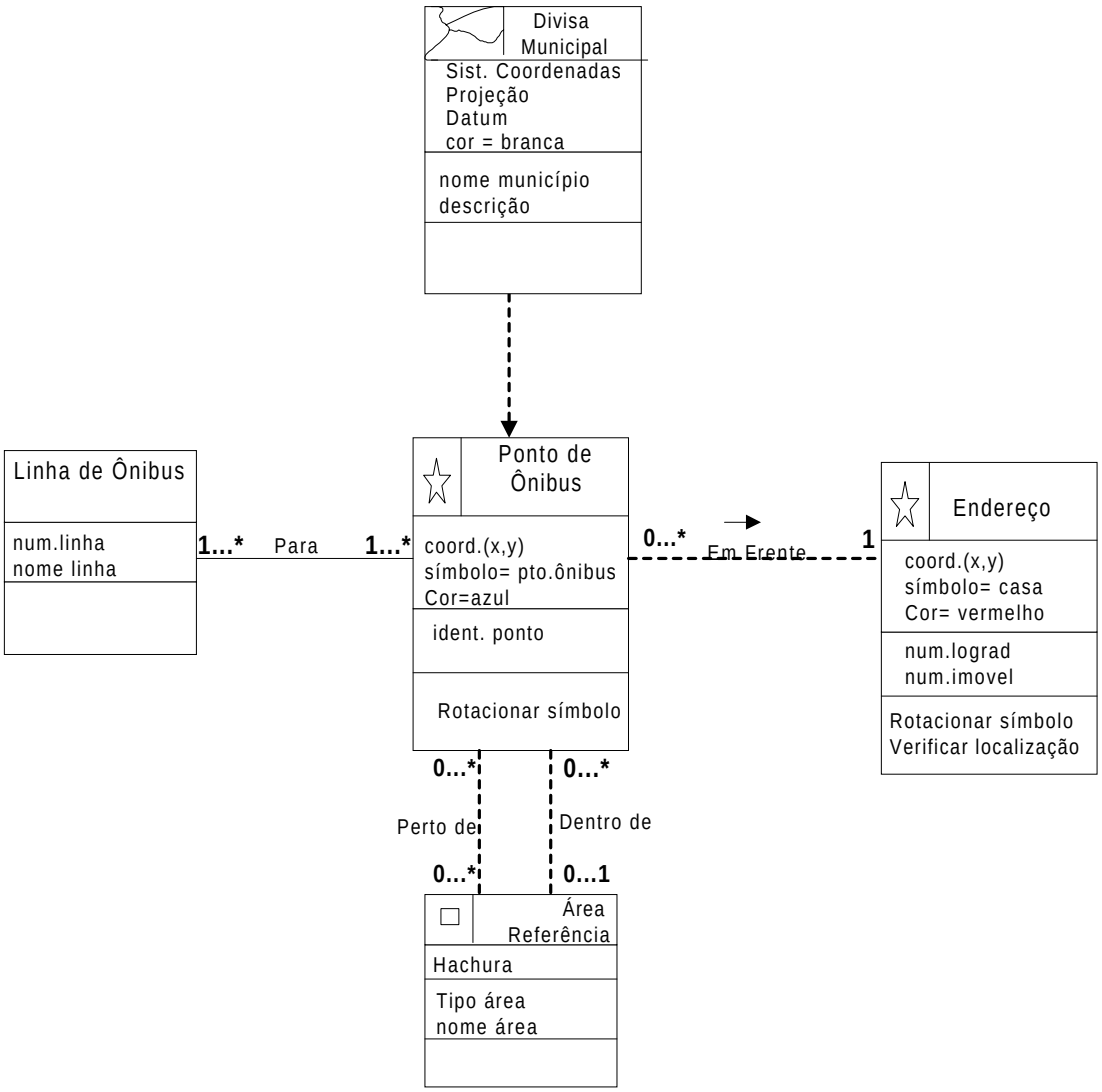


Figura 4.8 – Exemplo de Classes do Tipo *Geo-Objeto*

4.4 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 da relações espaciais e não espaciais na compreensão do espaço modelado, o modelo Geo-OMT 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 4.9a). 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, ordinais[3] 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 Geo-OMT têm por objetivo tornar explícita a interação espacial entre as classes. Existem muitas aplicações que não fazem uso de relações espaciais. Apesar de na realidade essas relações existirem, principalmente as topológicas, elas às vezes não são relevantes para o propósito dessas aplicações. No entanto, existem outras aplicações onde as relações espaciais possuem

3 Relações relativas a ordem

um significado relevante devendo ser representadas explicitamente no esquema da aplicação. No Geo-OMT, todas as relações espaciais são representados por linhas pontilhadas (Figuras 4.8 e 4.9b). Um caso particular de relação espacial é a *hierarquia espacial*. Através dessa relação a classe que representa o domínio espacial é conectada às demais subdivisões espaciais (Figuras 4.8 e 4.9c). Esta relação também pode ser utilizada na relação entre classes do tipo *Geo-campo* com classes do tipo *Geo-Objeto*, onde terão sempre uma conotação de hierarquica espacial já que, toda classe do tipo *Geo-Objeto* estará distribuída sobre classes do tipo *Geo-Campo.* A Figura 4.10 representa que qualquer ponto dentro de um lote tem um valor altimétrico associado.

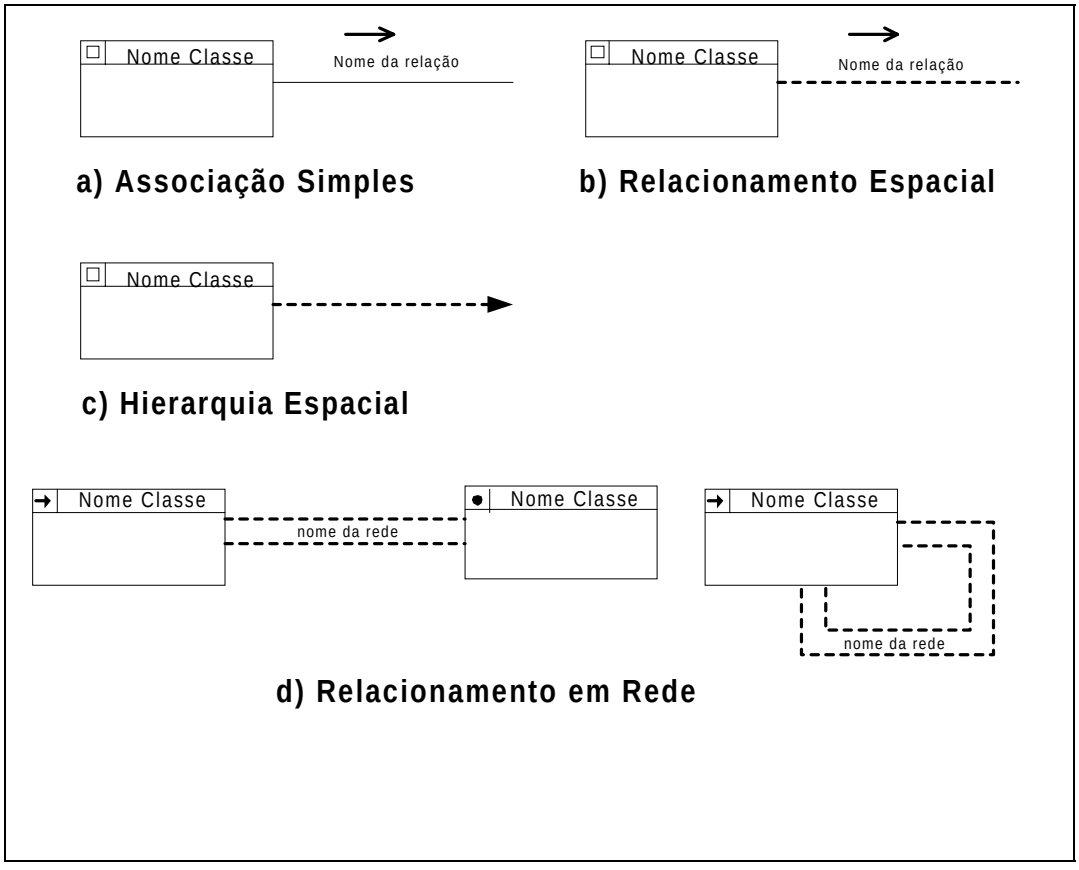


Figura 4.9 – Relacionamentos

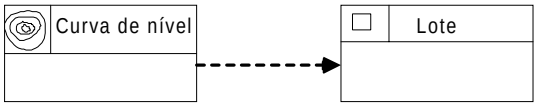


Figura 4.10 – Relação entre *Geo-Campo* e *Geo-Objeto*

As relações em rede são relações que podem ser mantidas através de estruturas de dados dos SIGs, sendo representadas por nós e arcos conectados. No Geo-OMT, as relações em rede são representadas por duas linhas pontilhadas paralelas ligando 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. O nome dado à rede deverá estar entre as linha pontilhadas (Figura 4.9d).

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 Geo-OMT 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)* serão tratadas na Seção 4.7 como 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 *Polígonos Adjacentes (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 *Polígonos Adjacentes (Geo-Campo)*. A relação *dentro de* será tratada na Seção 4.7, como uma Agregação Espacial "todo-parte".

- *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 (x_1,y_1) e P_2 (x_2,y_2) 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 Geo-OMT isto é considerado para que sejam estabelecidas as relações que envolvem classes *Georreferenciadas.* Neste aspecto, o Geo-OMT atua também no nível de representação.

A Figura 4.11 exemplifica as possíveis relações espaciais entre as *Classes Georreferenciadas.* É apresentado um conjunto mínimo 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 4.11 por serem possíveis em qualquer combinação. A relação entre polígonos está exemplificada na Figura 2.2.

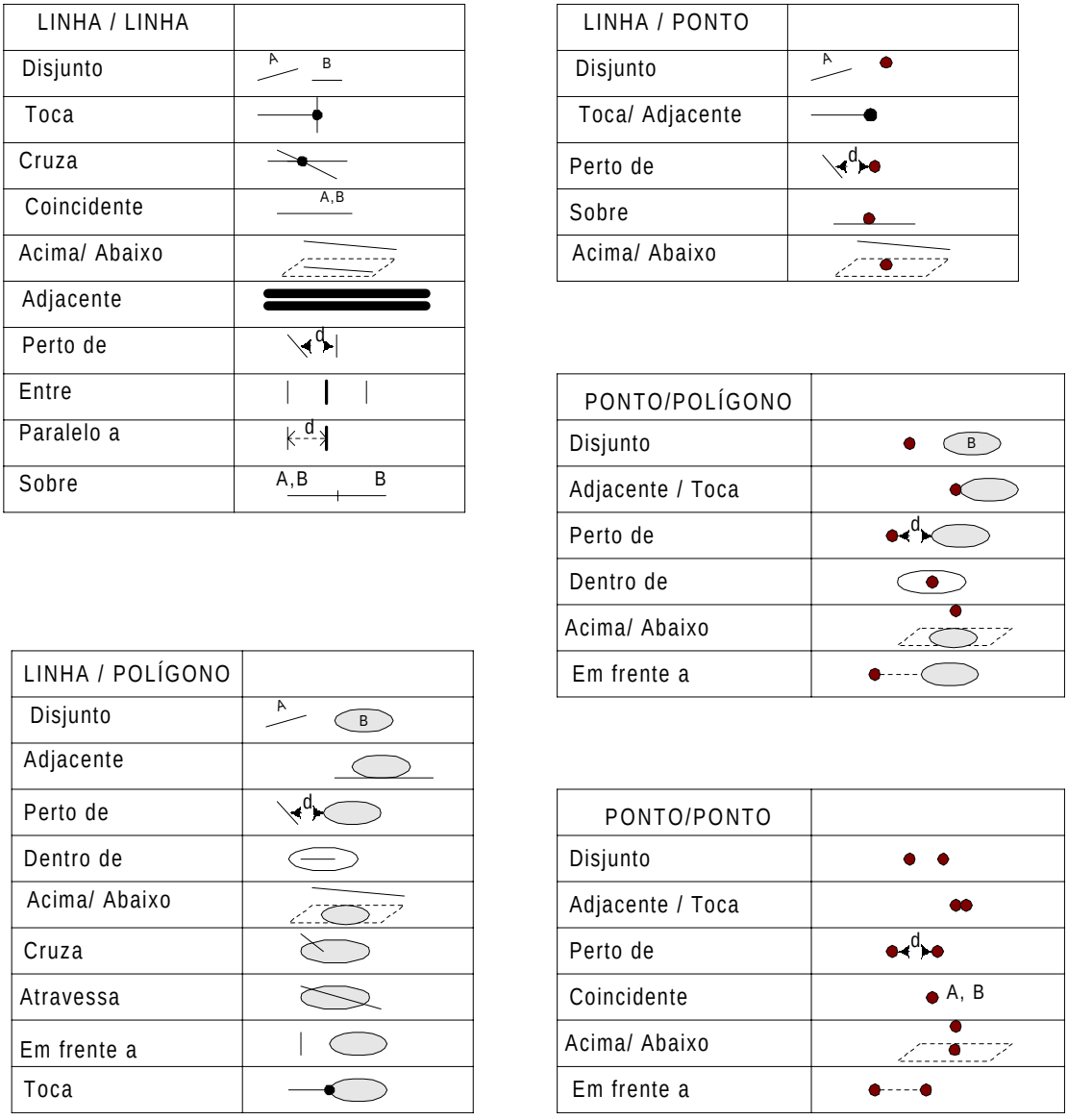


Figura 4.11 – Relacionamentos Espaciais

Os relacionamentos são caracterizados pela cardinalidade. A cardinalidade representa o número de instâncias de uma classe que podem estar associadas a uma instância da outra classe. A notação de cardinalidade adotada pelo modelo Geo-OMT é a utilizada na Unified Modeling Language (UML) [Rati97] por apresentar maior expressividade na sua representação do que a proposta pelo modelo OMT (Figura 4.12).

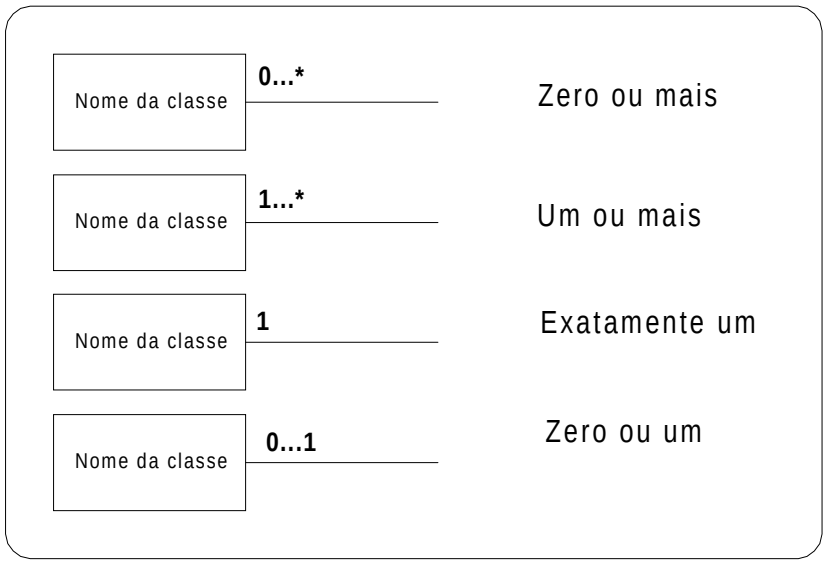


Figura 4.12 - Cardinalidade

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

4.5 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 Geo-OMT, as abstrações de generalização e especialização se aplicam tanto a *Classes Georreferenciadas* como a *Classes Convencionais,* seguindo a definição e a notação do modelo OMT, onde um triângulo interliga uma superclasse à suas subclasses. (Figura 4.13). Cada generalização pode ter um *discriminador* associado, indicando qual propriedade está sendo abstraída pelo relacionamento de generalização.

No entanto, se as propriedades gráficas (por exemplo, cor, tipo de linha, etc.) variarem nas subclasses, é utilizada a g*eneralização espacial*, onde as subclasses herdam a natureza gráfica da superclasse mas variam suas propriedades gráficas. Esse tipo de generalização é útil para registrar que deve existir uma distinção visual entre as subclasses, que não pode ser desconsiderada na implementação. A notação utilizada na g*eneralização espacial* só varia no tipo de linha utilizada na ligação entre a superclasse e as subclasses. A linha contínua é substituída pela pontilhada (Figura 4.13).

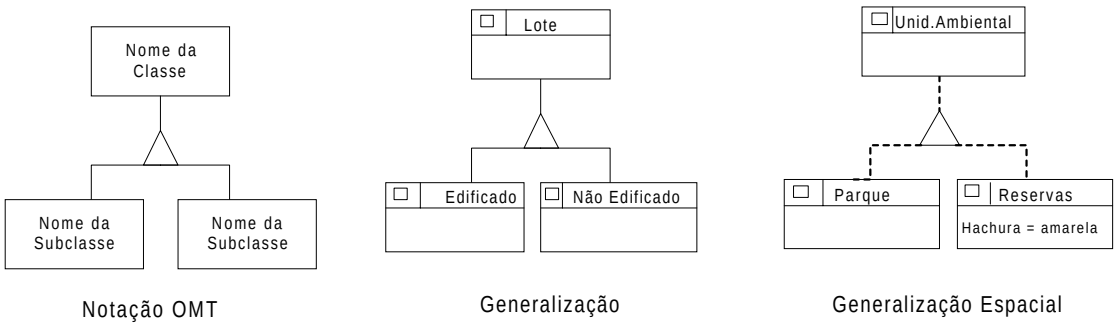


Figura 4.13 – Generalização

Uma generalização (espacial ou não) pode ser especificada como *total* ou *parcial* [LaFl94]. Uma generalização é total quando a união de todas as instâncias das subclasses equivalem ao conjunto de instâncias da superclasse. Como o modelo OMT não representa esse tipo de restrição, o modelo Geo-OMT acrescenta mais semântica à sua definição utilizando a notação apresentada em [LaFl94]. A totalidade é representada por um ponto no ápice do triângulo (Figura 4.14).

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.

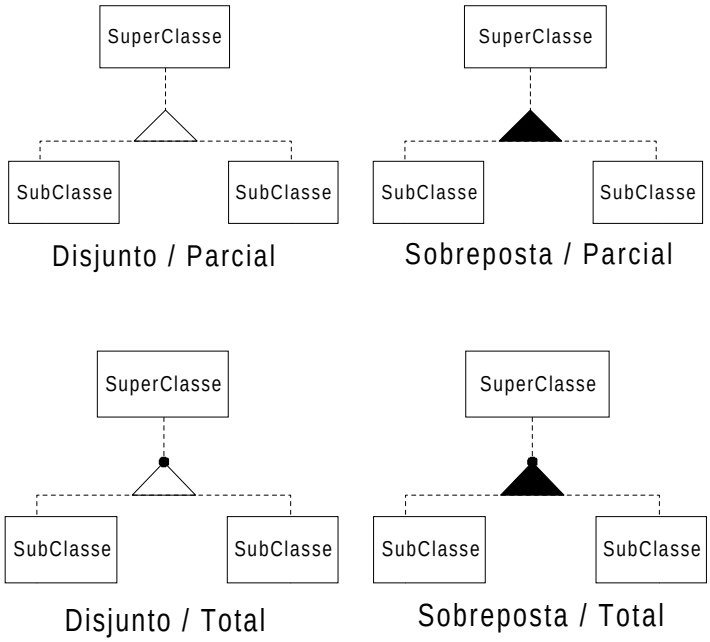


Figura 4.14 – Generalização Espacial

Como exemplo de uma *generalização espacial*, citamos o nó de uma rede fluvial que é especializado em estação fluviométrica, usina hidrelétrica e confluência. Cada nó terá uma representação simbólica diferente. A Figura 4.15a mostra o nó da rede fluvial com a especialização espacial, e a Figura 4.15b substitui o pictograma padrão que representa nó de rede (*Geo-Objeto* Nó), pelo símbolo real que este nó assumirá no banco de dados.

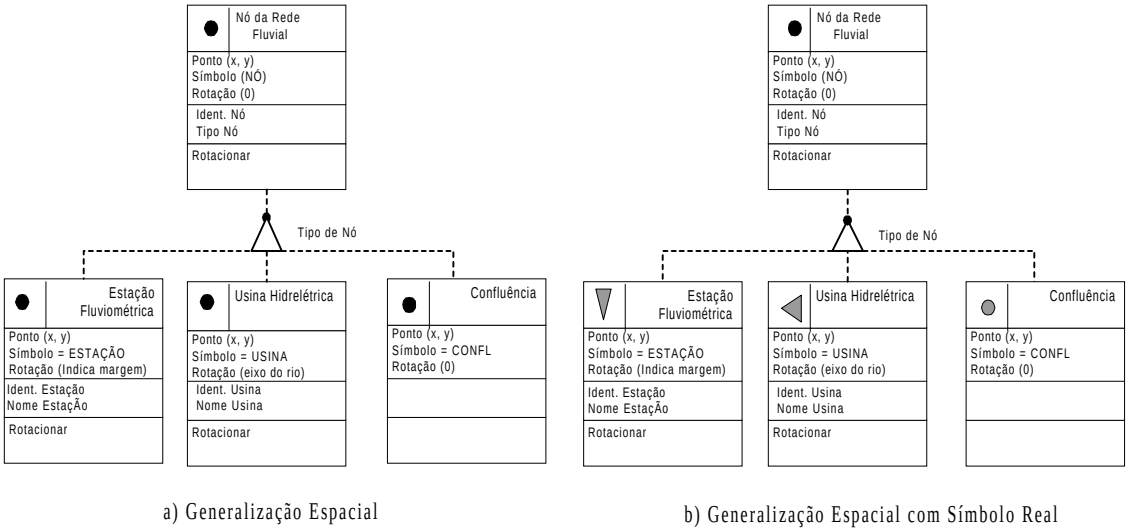


Figura 4. 15 - Generalização Espacial do Nó da Rede Fluvial

4.6 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 do modelo OMT (Figura 4.16). 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*.

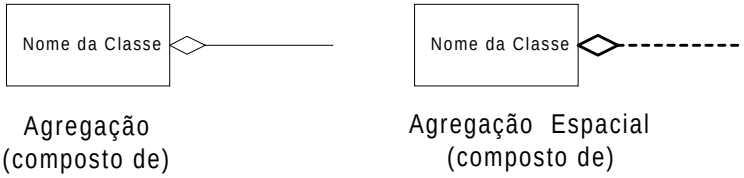


Figura 4.16 – Notação Gráfica Agregação

A Figura 4.17 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.

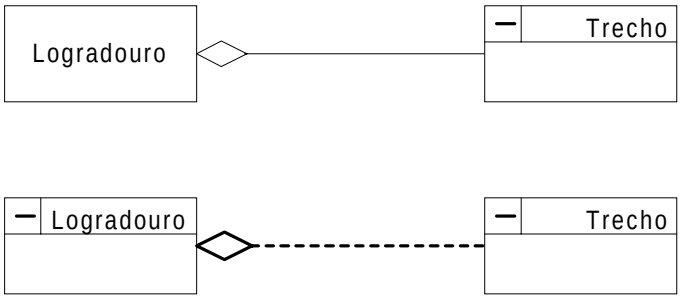


Figura 4.17 – Exemplo de Agregação

4.7 Agregação Espacial - “Todo-Parte”

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.

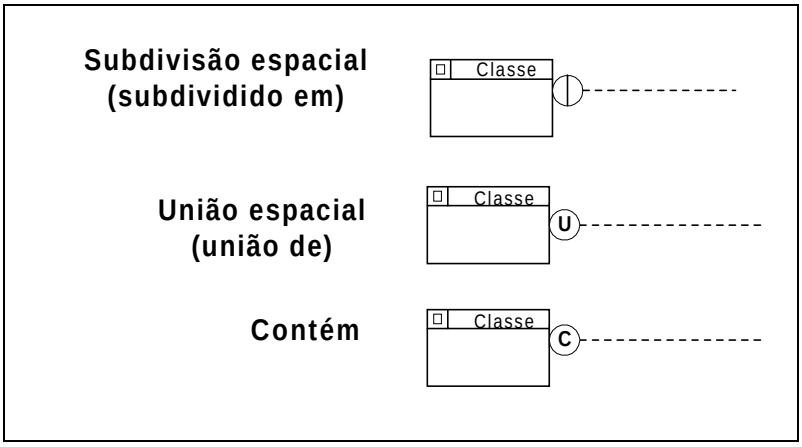
A estrutura topológica “todo-parte” foi subdividida em: *subdivisão espacial*, *união espacial* e *contém.* A propriedade comum dessas estruturas é a interseção não-nula da

geometria de cada parte com a geometria do todo [KÖPS96, KÖPS95]. A notação das três estruturas é apresentada na Figura 4.18.

Na estrutura s*ubdivisão espacial*, o todo é subdividido em partes de mesma natureza geométrica e a geometria do todo é coberta pela geometria das partes (por exemplo, a quadra é subdividida em lotes. Para existir um lote, a quadra já deve existir (Figura 4.18).

A estrutura u*nião espacial* é o inverso da subdivisão espacial. O todo é formado a partir da união das partes. A diferença entre elas está na origem da geometria do todo (por exemplo, uma quadra é uma união lotes. A quadra não existe sem os lotes existirem primeiro. Figura 4.18).

Na estrutura c*ontém*, a geometria do todo contém a geometria da partes. Objetos de natureza geométrica diferentes podem estar contidos no todo (por exemplo, edificações dentro de um lote. Figura 4.18).



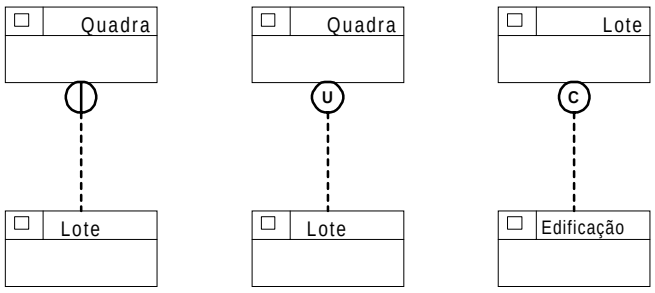


Figura 4.18 – Agregação Espacial

4.8 Generalização Cartográfica

A *generalização*[4] pode ser vista como uma série de transformações em algumas representações das informações espaciais, com o objetivo de melhorar a legibilidade e compreensão dos dados. 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]. Conforme visto no Capítulo 2, 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 mesmos atributos alfanuméricos, porém variando as características geográficas. 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

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].

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 Geo-OMT introduziu a primitiva espacial chamada de *Generalização Cartográfica.* A *generalização cartográfica* é usada para representar 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 cartográfica* pode ser de dois tipos: *variação pela forma* e *variação por escala.* A v*ariação 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 4.19).

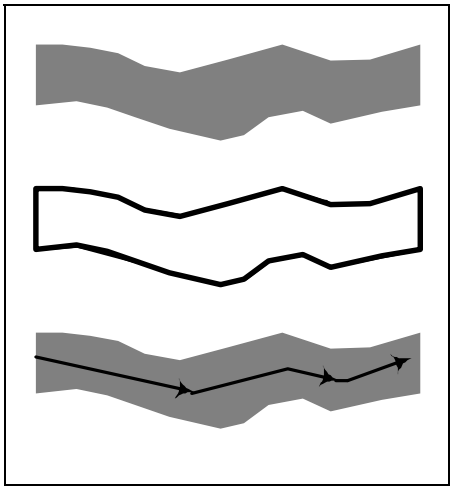


Figura 4. 19 – Diferentes Visões de um Rio

Um outro exemplo, muito comum em áreas urbanas, é o cemitério. Ele é representado tanto por um polígono fechando a área do cemitério, quanto pelos símbolos cartográficos de cruzinhas (Figura 4.20a). A v*ariação 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 (Figura 4.20b)

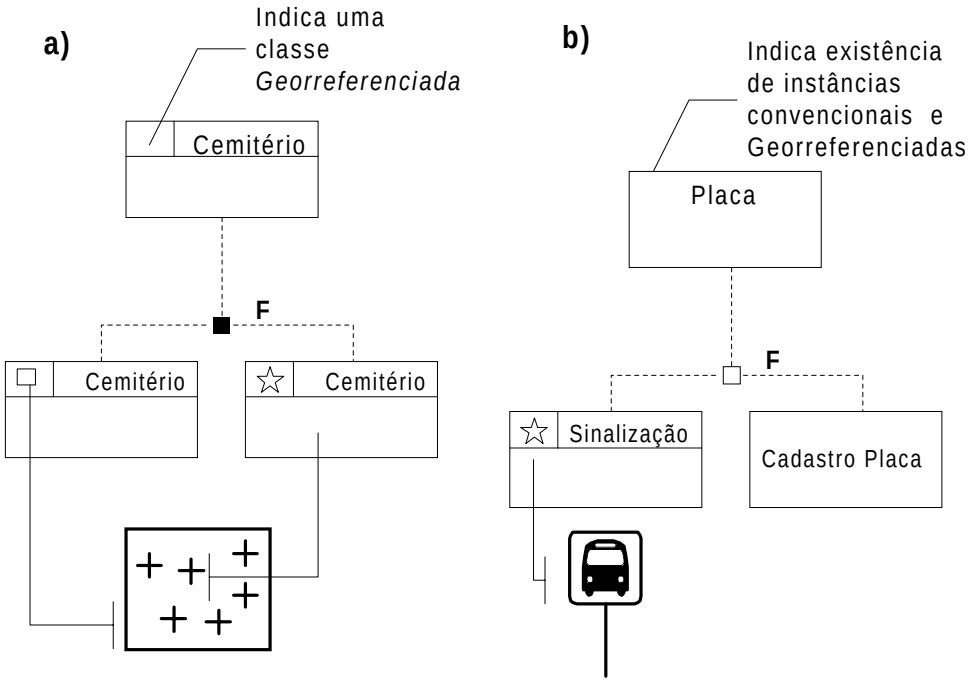


Figura 4.20 - Generalização Cartográfica – Variação pela Forma

A v*ariação por escala* é utilizada na representação das diferentes formas geométricas 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 4.21).

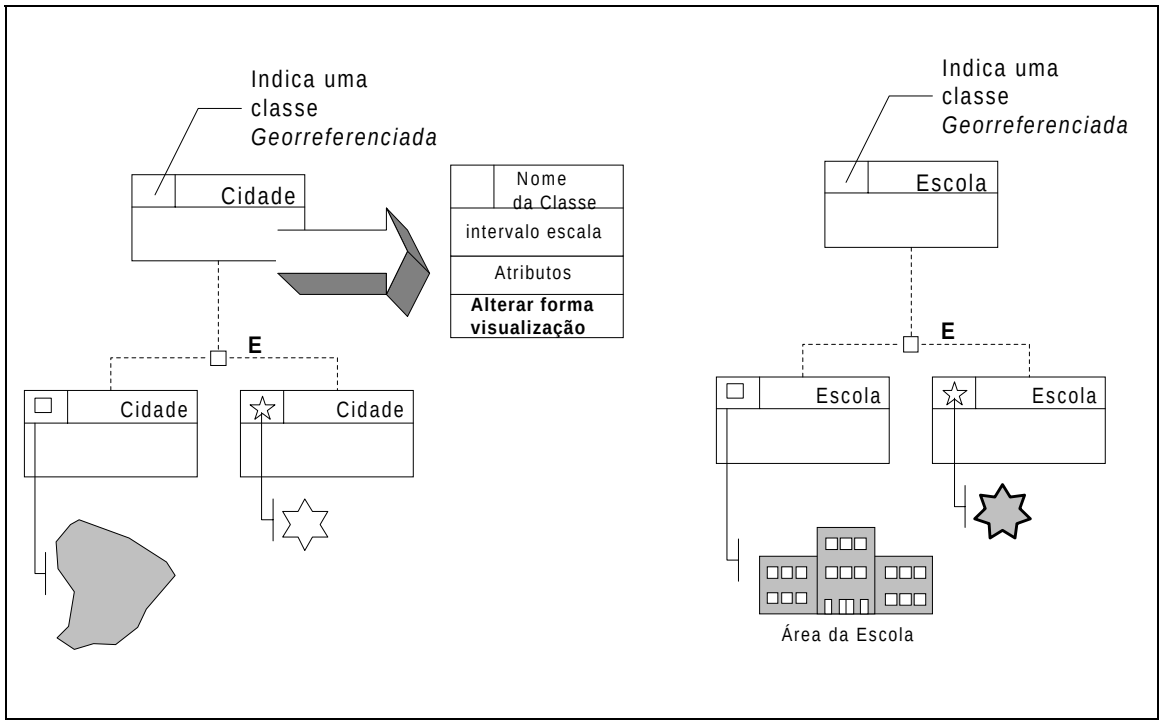


Figura 4.21 – Generalização Cartográfica - Variação por Escala

A primitiva *generalização* c*artográfica* 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 Geo-OMT como uma operação aplicada à classe, com função de alterar a visualização. A Figura 4.22 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.

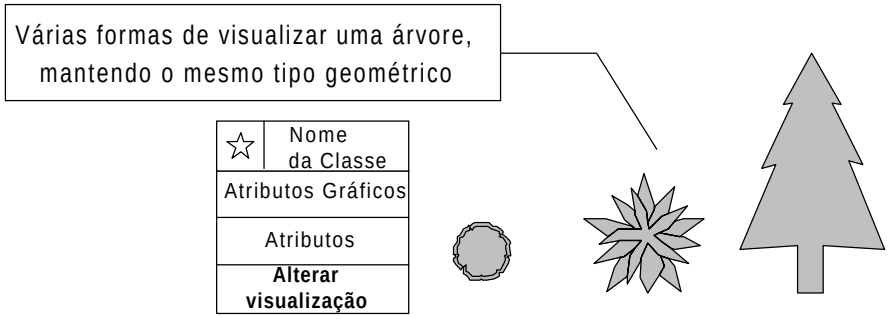


Figura 4.22 – Variação de Visualização de Um Símbolo

O objetivo do uso desta primitiva é registrar as múltiplas naturezas gráficas que um objeto pode ter, de forma a tornar possível explicitar os relacionamentos decorrentes de cada natureza. Conforme visto na Seção 4.4, a forma com que uma classe é representada influencia nos tipos de relacionamento espacial que dela podem podem ser derivados.

A notação para *generalização cartográfica* é um quadrado interligando uma superclasse à suas subclasses. A subclasse é ligada por uma linha pontilhada ao ápice do triângulo. 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 4.23).

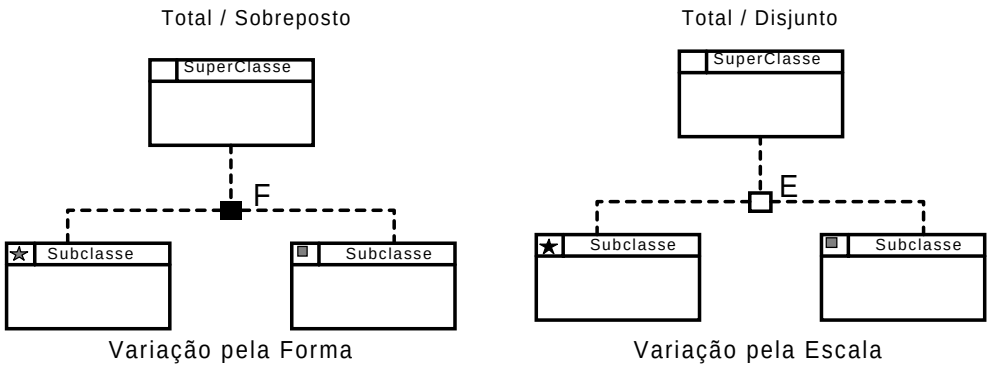


Figura 4.23 - Generalização Cartográfica

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 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].

4.9 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.

Nós consideramos nesta dissertação 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 Geo-OMT 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 das primitivas espaciais *Subdivisão espacial* e *União 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.*

- *Regras de Generalização Espacial* - São impostas restrições pela variação dos atributos gráficos.

- *Regra de Disjunção* - É uma restrição aplicada a classes que não podem de forma alguma ter algum tipo de relacionamento espacial entre elas.

- *Regras de Conectividade* - São impostas restrições pela existência de conectividade entre os objetos.

- *Regras de Associação Espacial* - São impostas restrições pela existência de algumas relações espaciais.

- *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.

Regras de Dependência Espacial

Subdivisão Espacial O objeto primitivo é subdividido em áreas menores originando objetos derivados. O objeto primitivo é uma instância da classe que foi subdividida dando origem à classe derivada	1. O objeto da classe primitiva deve dar origem a pelo menos dois objetos da classe derivada. 2. Qualquer porção do espaço contido dentro do objeto primitivo deve conter um e somente um objeto derivado, não podendo haver sobreposição de áreas, nem espaços vazios. 3. Os limites geográficos dos objetos derivados devem estar totalmente contidos no limite geográfico do objeto primitivo, podendo coincidir parte, porém não extrapolá-lo. 4. A alteração do limite geográfico do objeto primitivo implica em alteração nos limites geográficos dos objetos derivados. 5. A alteração do limite geográfico de um dos objetos derivados implicará na alteração do limite geográfico de outros objetos derivados, de forma a não existir espaços vazios dentro do objeto primitivo. 6. A exclusão de um objeto primitivo implicará na exclusão de todos os objetos pertencentes à classe derivada.

Para exemplificar o uso das regras de dependência espacial, citamos a classe Quadra que é subdividida na 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. A subdivisão de uma quadra dará origem a pelo menos dois lotes (regra 1). 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).

União Espacial O objeto derivado (objeto agregado) é formado pela união de objetos primitivos.	1. A origem de um objeto derivado depende da união de pelo menos dois objetos disjuntos pertencentes à classe primitiva. 2. O limite geográfico do objeto derivado deve coincidir com o limite geográfico externo formado pela união da geometria dos objetos pertencentes à classe primitiva, não podendo extrapolá-lo. 3. A alteração do limite geográfico do objeto derivado só poderá ser feita através da alteração dos limites dos objetos primitivos. 4. A exclusão de um dos objeto primitivos implica na alteração do limite do objeto derivado. 5. A exclusão de todos os objetos primitivos que originaram o objeto derivado, implicará na exclusão do objeto derivado.

Obs- caso o objeto primitivo tenha servido apenas de parâmetro para a entrada de dados dos objetos derivados, não existindo nenhuma dependência de existência entre eles, essas regras não se aplicam.

Regras de Continência

Contém Objetos contidos dentro da estrutura geométrica de outro.	1. A geometria do objeto que contém 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.

Regras de Generalização Espacial

Total/disjunta	1. A geometria que descreve uma superclasse é herdada pelas subclasses, porém cada subclasse deve possuir atributos gráficos diferentes, como tipo de traço, cor ou simbologia. 2. Todas as instâncias da superclasse tem que ser instância de uma e somente uma subclasse.

Regras de Generalização Espacial

Parcial/disjunta	3. A geometria que descreve uma superclasse é herdada pelas subclasses, porém existirão instâncias da superclasse que não pertencem a nenhuma das subclasse devendo ter os atributos gráficos da superclasse 4. As instâncias da superclasse podem ou não pertencer a uma subclasse.

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	1. Uma isolinha não pode interceptar outra isolinha 2. Uma isolinha deve ser contínua
Tesselação	3. Qualquer ponto do espaço geográfico deve pertencer a uma e somente uma célula de cada classe do tipo tesselação.

Regras de GeoCampo

Polígonos Adjacentes	4. Qualquer ponto do espaço geográfico deve pertencer a uma e somente uma instância de uma classe do tipo polígono adjacente. 5. As instâncias desta classe devem ser todas adjacentes, não devendo existir nenhum espaço vazio.
RedeTriangular Irregular	6. Qualquer ponto do espaço geográfico deve pertencer a um triângulo da rede de triangulação. 7. Não existe sobreposição de instâncias destas classes. Cada objeto ocupa uma única posição no espaço, não havendo sobreposição.
Amostragem	8. Não existe sobreposição de instâncias de uma mesma classe do tipo amostragem.

Regras de Associação Espacial

Proximidade	1. As relações de proximidade são consideradas relações *fuzzy* devendo portanto, ter parâmetros que forneçam o que é considerado perto ou longe.
Dentro de	2. A instância que contém deve ser sempre uma área, podendo ser um polígono ou uma célula.

Regras de Conectividade

Estrutura grafo-nó	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.

Regras de Conectividade

Estrutura grafo-grafo	4. Todo segmento orientado intermediário estará conectado a dois outros segmentos orientados de uma mesma classe, um posterior e um anterior. 5. 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.

4.10 Diagrama de Temas

Conforme já mencionado na Seção 4.2, o modelo Geo-OMT adota o conceito de temas 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 Geo-OMT 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 4.24 mostra a notação utilizada em um exemplo de temas do município de Belo Horizonte. A Figura 4.25 mostra parte de um esquema da aplicação de circulação viária onde estão presentes os temas Trânsito e Sistema Viário.

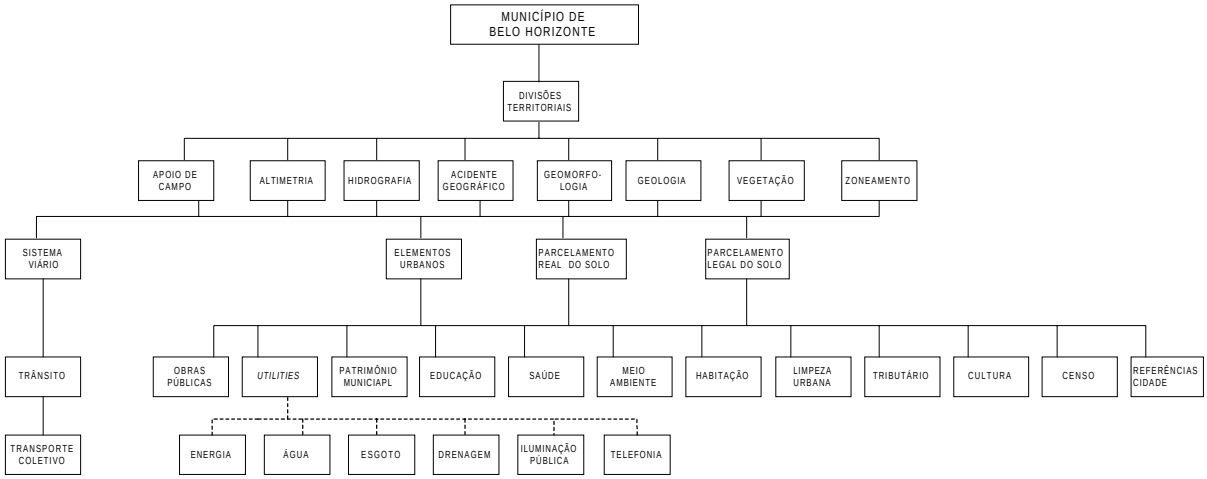


Figura 4.24 – Diagrama de Temas

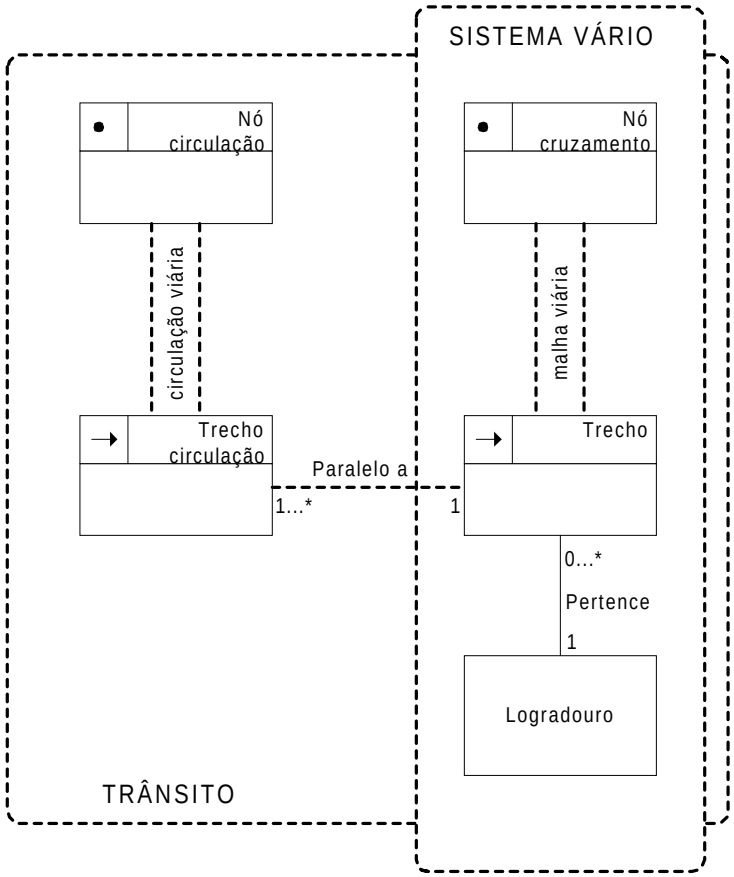


Figura 4.25 – Esquema de Parte da Aplicação de Circulação Viária

Capítulo 5

Estudo de Caso – Transporte Coletivo

5.1 Introdução

Este capítulo apresenta a modelagem de um caso real, utilizando o modelo Geo-OMT. O esquema resultante dessa modelagem será avaliado quanto à sua expressividade e clareza em relação aos modelos GISER, MODUL-R, GMOD e GeoOOA.

A aplicação escolhida refere-se ao Transporte Coletivo. Ela se limitará ao transporte de passageiros em ônibus. A aplicação envolve o sistema viário e a circulação viária. Para simplificar o esquema resultante, só será considerada a sinalização vertical referente a ponto de ônibus. Sendo uma aplicação urbana, o parcelamento do solo urbano em quadras e lotes também será representado compondo o espaço geográfico modelado.

5.2 Descrição da Aplicação e Modelagem usando Geo-OMT

O espaço geográfico modelado corresponde ao município de Belo Horizonte. O município é subdivido 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 subdivida 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 5.1 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 5.2 exemplifica a circulação viária e a Figura 5.3 mostra o esquema da aplicação de transporte coletivo. Nele foi usada a notação simplificada do Modelo Geo-OMT.

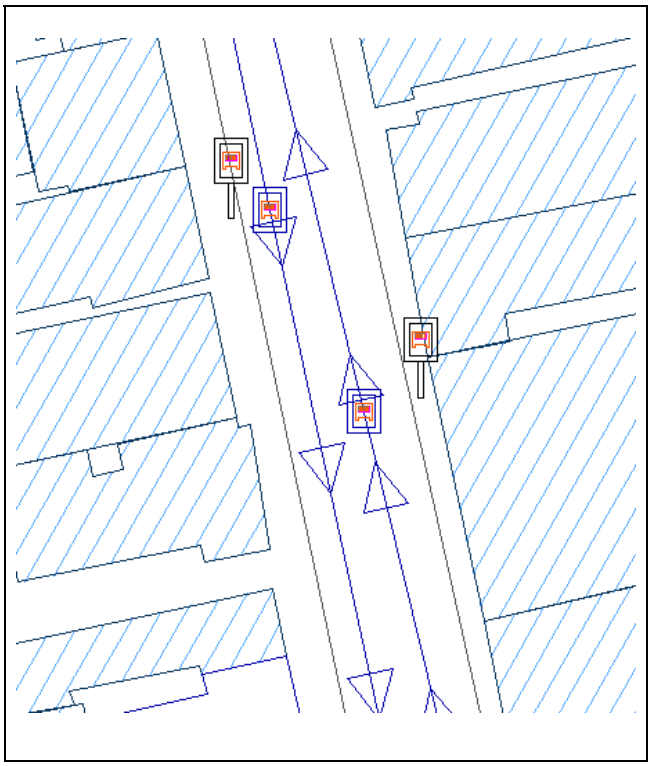


Figura 5.1 – Rede do Itinerário de Ônibus

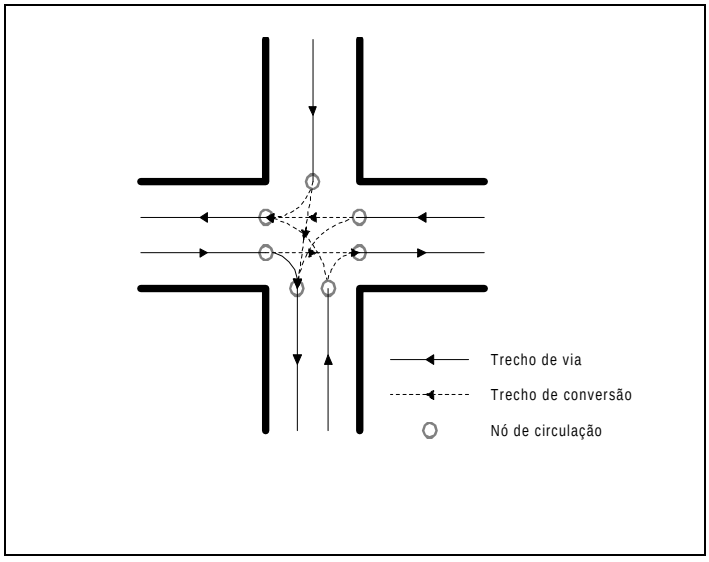


Figura 5.2 – Exemplo da Circulação Viária

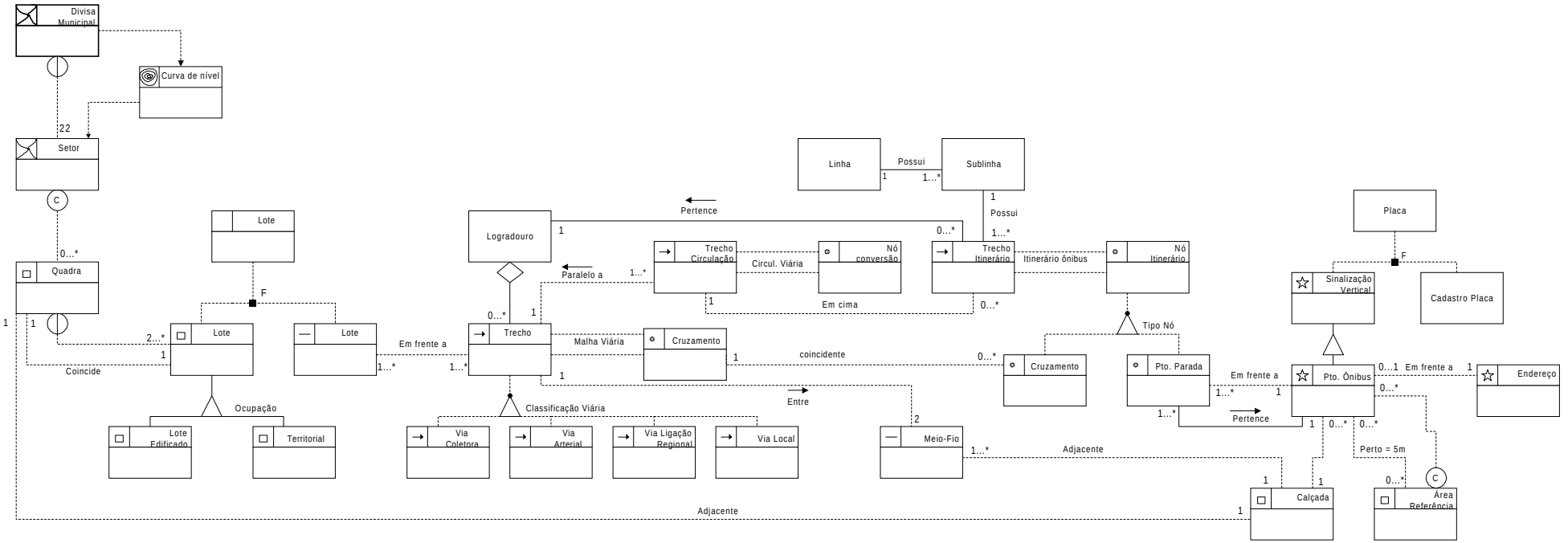


Figura 5.3 - Esquema da Aplicação de Transporte Coletivo

5.3 Avaliação da Modelagem

O objetivo desta seção é avaliar a capacidade de expressão do modelo Geo-OMT em relação a alguns dos modelos apresentados no Capítulo 3. Assim, para avaliar o uso do Geo-OMT, selecionamos algumas particularidades dos dados geográficos e comparamos a solução apresentada no esquema da aplicação de transporte coletivo (Figura 5.3), com a solução que seria dada nos modelos GISER, MODUL-R, GMOD e GeoOOA. O critério de comparação considera a capacidade de representação das particularidades geográficas, a clareza do esquema e a facilidade de representação.

5.3.1 Representação da Visão de Campos

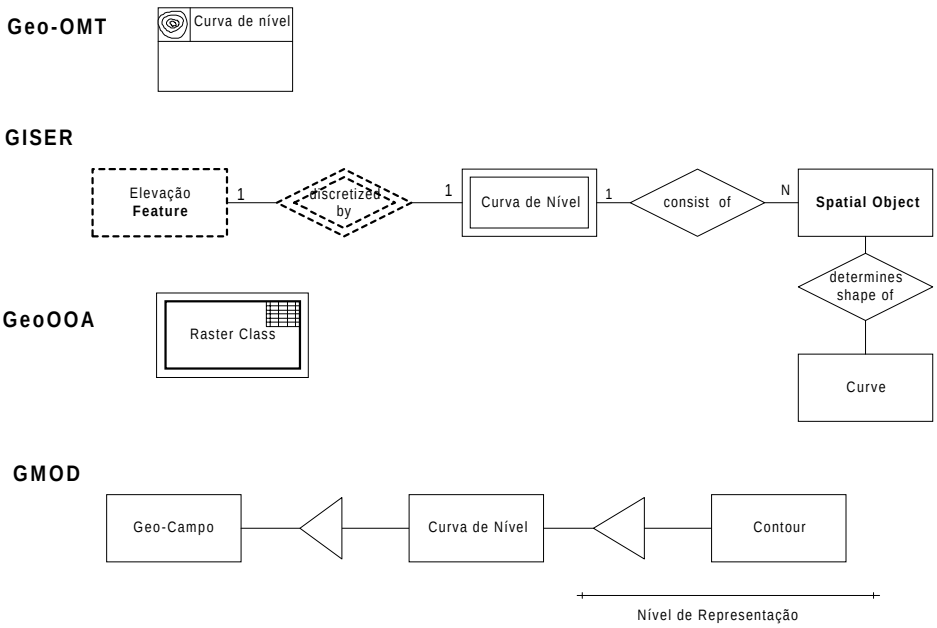


Figura 5.4 – Esquema para Geo-Campo

Os modelos MODUL-R e GeoOOA não representam a visão de campos. No entanto, o modelo GeoOOA possui uma primitiva (*raster*) para a representação de imagens, que é um dos tipos de visão de campos. A simbologia usada pelo modelo Geo-OMT para a representação da visão de campos tem um significado próprio já incorporando sua natureza (Geo-Campo) e sua geometria. Adicionalmente, o modelo Geo-OMT fornece algumas regras para a manutenção da integridade espacial dos tipos de Geo-Campos (Seção 4.9.1).

5.3.2 Representação da Visão de Objetos

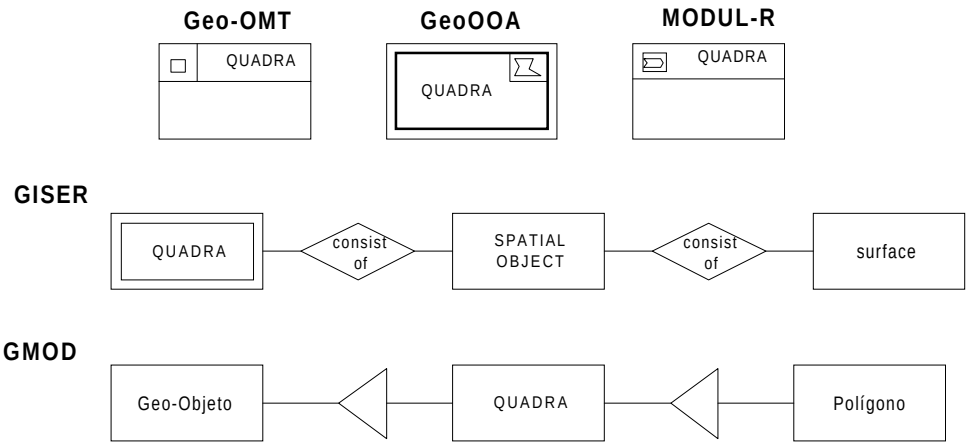


Figura 5.5 – Esquema para Geo-Objeto

Todos os modelos representam a visão de objetos. No entanto, a representação nos modelos Geo-OMT, MODUL-R e GeoOOA eliminam a necessidade de modelar a estrutura geométrica da Classe. No modelo GMOD, a estrutura geométrica só é representada no segundo nível de abstração, o nível de representação. Lembrando os princípios da semiologia gráfica [Bert67], o uso de um símbolo significativo faz com que a linguagem visual seja mais intuitiva e expressiva.

5.3.3 Representação de Classes Georreferenciadas e Classes Convencionais

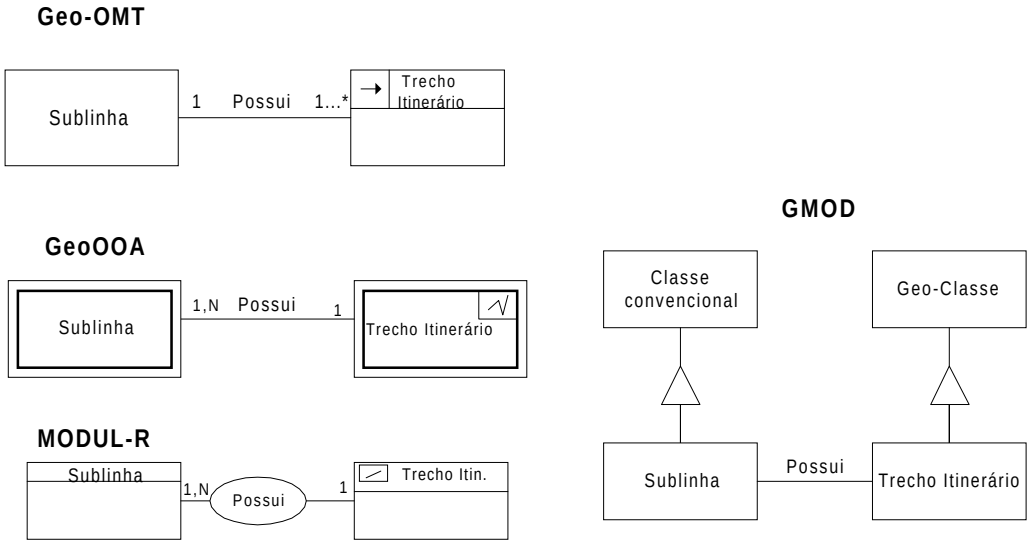


Figura 5.6 – Representação de Classe Convencional e Georreferenciada

Tanto no modelo Geo-OMT quanto nos modelos GeoOOA e MODUL-R existem primitivas diferentes para representar uma classe georreferenciada e uma classe convencional. No modelo GISER não existe essa diferenciação de forma explícita. As classes convencionais não estão relacionadas à entidade pré-definida *Spatial Object*. No modelo GMOD, classes do tipo convencional ou georreferenciada são especializações das classes convencional e Geo-Classe, que são classes pré-definidas. Esse tipo de representação aumenta o número de classes presentes no esquema da aplicação pois, toda classe deve ser associada a uma classe pré-definida.

5.3.4 Representação de Relações Espaciais

O modelo Geo-OMT representa as seguintes relações espaciais: hierarquia espacial, relação espacial simples, agregação “todo-parte” e relação topológica de conectividade para representação de estruturas em rede. Todos essas relações são representadas por linhas pontilhadas, padronizando a visualização das relações espaciais e diferenciando-as das associação simples. Fica claro, olhando a Figura 5.7, qual o tipo de relacionamento existe entre as duas classes. A semântica dos dois tipos de relação é bem diferente. As relações espaciais são relações que precisam estar explícitas para dar maior clareza quanto à relação posicional de uma classe em relação a outra. No caso do ponto de parada, cada instância dessa classe deverá ser criada em frente a uma instância de ponto de ônibus que, consequentemente, já deverá existir. Já o relacionamento Pertence estabelece uma associação alfanumérica entre as duas classes. Os modelos apresentados não fazem distinção entre esses dois tipos de relacionamento.

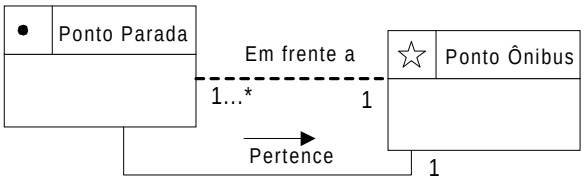


Figura 5.7 – Relação Espacial e Associação Simples no Modelo Geo-OMT

A hierarquia espacial possui um significado muito expressivo. No exemplo da Figura 5.8, a Divisa de Município é do tipo Geo-Campo e possui uma relação de hierarquia espacial com Curva de Nível, que também é um Geo-Campo. O mesmo relacionamento é estabelecido com Setor. Consequentemente, como Setor cobre todo o município, a Curva de Nível também cobrirá. Com esse relacionamento, fica registrado que qualquer lugar dentro do município possui um valor de curva de nível. Com essa representação,

evita-se relacionar uma classe do tipo Geo-Campo com todas as classes do espaço modelado. Os outros modelos não fornecem mecanismos para essa representação.

Somente os modelos Geo-OMT e GeoOOA apresentam primitivas próprias para a representação da agregação espacial “todo-parte”. Os outros modelos representam a relação “todo-parte” como um relacionamento comum, conforme exemplificado com o modelo MODUL-R (Figura 5.8c).

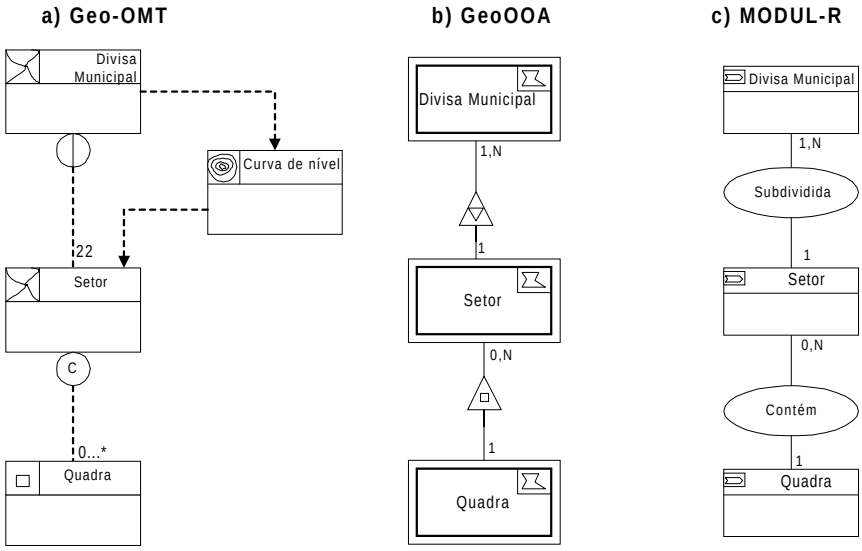


Figura 5.8 – Relações Espaciais

O Modelo Geo-OMT estabelece regras de integridade espacial associadas a cada primitiva de representação da agregação espacial “todo-parte” (Seção 4.9.1).

Somente os modelos Geo-OMT e GeoOOA possuem primitivas para a representação de relacionamentos topológicos de redes (Figura 5.9). No modelo Geo-OMT, já fazem parte da simbologia adotada a cardinalidade e a restrição espacial de “ser conectado a”. Dessa forma, a representação é feita de maneira mais simples porém, continua tendo o mesmo significado da representação feita no GeoOOA. O modelo GISER consegue representar a estrutura em rede de forma indireta. No entanto, o esquema fica bem extenso. O modelo MODUL-R representa a estrutura de rede como um relacionamento

comum, onde, através do nome do relacionamento (Conectado) pode ser inferido que se trata de uma rede. Também no modelo GMOD não existe nenhuma primitiva para a representação de estruturas em rede. A Figura 5.9 exemplifica a modelagem da estrutura de redes nos modelos considerados.

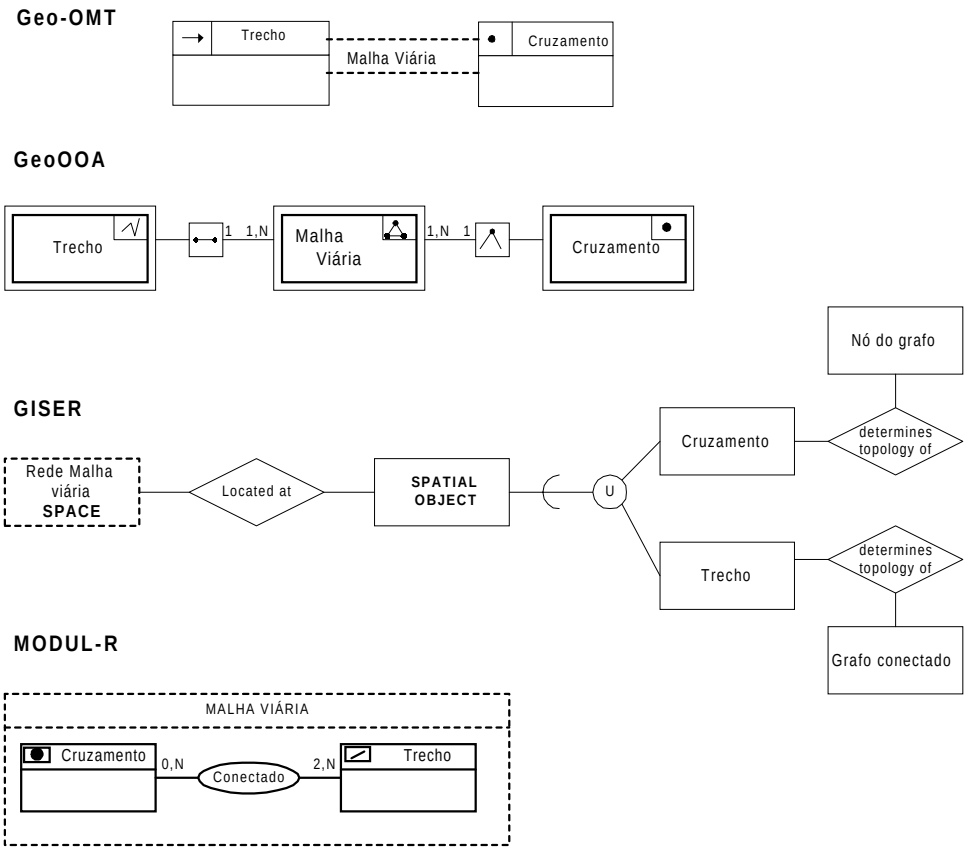


Figura 5.9 – Estrutura de Rede

5.3.5 Múltiplas Representações

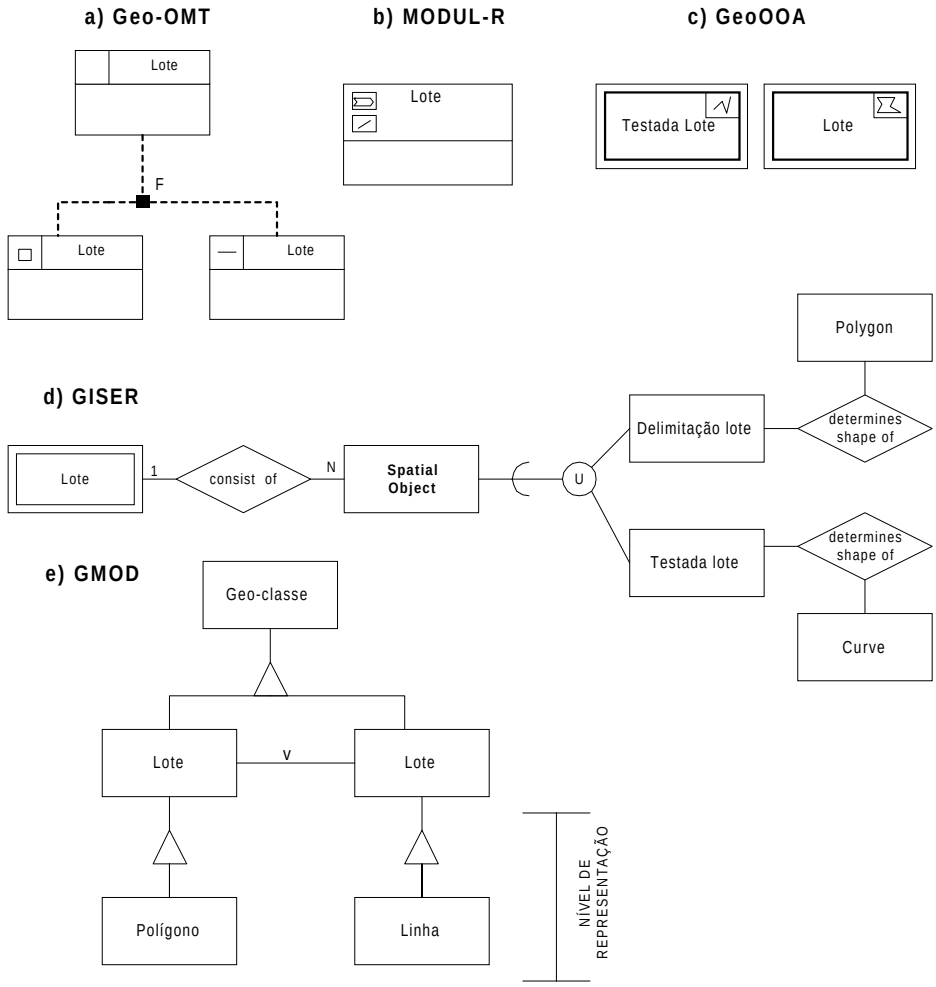


Figura 5.10 – Múltiplas Representações

O modelo Geo-OMT possui uma primitiva própria para a representação de múltiplas formas de se visualizar uma entidade do mundo real. A primitiva *generalização cartográfica* deixa claro (ver exemplo da Figura 5.10a) que a variação da visualização é pela forma geométrica, sendo além disso, sobreposta. Ou seja, na figura 5.10a, o lote possui simultaneamente uma representação de polígono e uma de linha. As subclasses herdam as características da superclasse Lote. Relacionamentos distintos podem ser estabelecidos com as duas formas de representação da classe Lote. O modelo MODUL-

R também possui um mecanismo de representação de múltiplas formas. Porém, não é possível estabelecer relacionamentos distintos (Figura 5.10b). No modelo GeoOOA, o lote é representado como dois lotes distintos perdendo dessa forma a herança das características comuns (Figura 5.10c). A relação entre os lotes deve ser estabelecida de forma textual. O modelo GISER apresenta múltiplas representações, através da especialização da entidade pré-definida *Spatial Object*. O modelo GMOD estabelece um relacionamento do tipo *versão* para essa representação. No entanto, só no nível de representação seriam visualizadas as formas geométricas. Apesar de não constar no exemplo da Figura 5.3, o modelo Geo-OMT, diferencia ainda, a variação de visualização causada por mudanças de escala.

5.3.6 Generalização Espacial

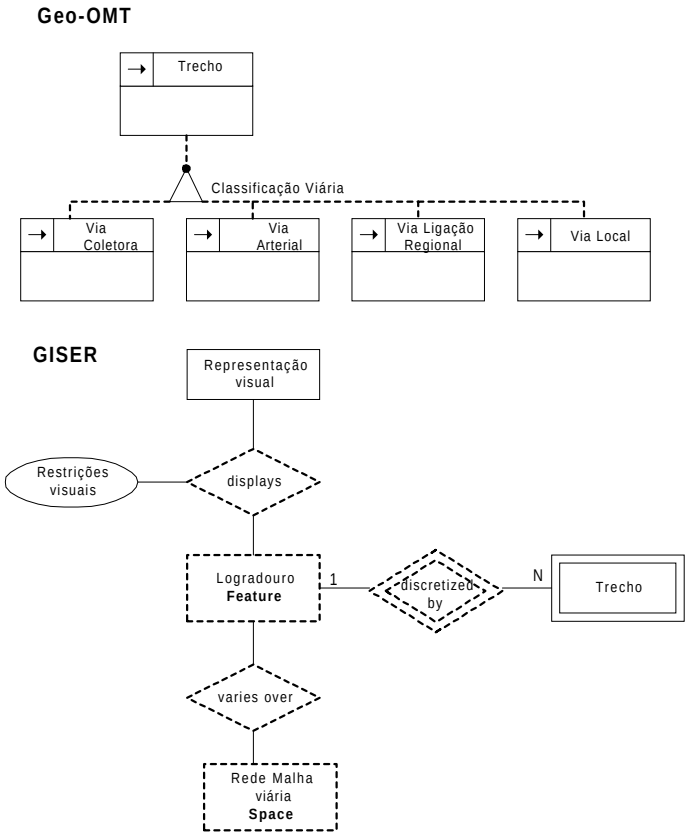


Figura 5.11 – Generalização Espacial

No modelo Geo-OMT, fica explícito quando subclasses de uma generalização deverão ter variação nos atributos visuais, de forma a manter diferenças visuais. Dos modelos apresentados, apenas o modelo GISER consegue representar a alteração de atributos visuais de uma classe, através de uma restrição visual da relação *display*. A representação do modelo Geo-OMT, além de mais clara, mantém a mesma notação utilizada na generalização, só trocando para linha pontilhada, a linha que associa as classes envolvidas.

5.3.7 Conclusão da Avaliação

Conforme demonstrado, o uso de pictogramas que eliminam a necessidade de modelar a estrutura geométrica das classes contribui para a obtenção de um esquema mais compacto que, além de não perder nenhuma informação, traz a vantagem de ser mais expressivo e intuitivo. Não deve ser esquecido que esquemas em aplicações geográficas tendem a ser muito extensos. De forma geral, o modelo Geo-OMT mostrou ser capaz de representar as particularidade dos dados geográficos mantendo maior clareza e facilidade de representação. O aspecto espaço-temporal não foi considerado nessa avaliação porque o modelo Geo-OMT não oferece mecanismos de representação temporal.

Capítulo 6

Conclusões

6.1 Revisão do Trabalho

Esta dissertação abordou o problema da modelagem de dados geográficos apresentando as peculiaridades dos dados geográficos e a inadequação dos modelos de dados tradicionais. Foi proposta uma extensão do modelo de objetos da *Object Modeling Tecnique* (OMT) [RBPE91], denominada Geo-OMT [BOLa97], para utilização em aplicações geográficas. O modelo Geo-OMT é um modelo orientado a objetos, que fornece primitivas próprias para a modelagem da geometria e topologia dos dados geográficos, suportando diferentes estruturas topológicas, múltiplas visões dos objetos e relações espaciais. O modelo Geo-OMT apresenta também, um conjunto de regras integridade espacial, que devem ser observadas nas operações de atualização do banco de dados geográfico.

Como os sistemas de informação geográfica tiveram um importante papel como tecnologia de integração entre várias disciplinas associadas ao tratamento das informações geográficas, no Capítulo 2 apresentamos alguns conceitos relativos ao tratamento do espaço, que foram desenvolvidos por essas disciplinas e utilizados no decorrer desta dissertação.

No Capítulo 3, apresentamos os requisitos necessários a um modelo de dados para aplicações geográficas, os níveis de abstração considerados nessas aplicações e os principais modelos semânticos e orientados a objetos utilizados como base para as

extensões geográficas propostas na literatura. Ainda nesse capítulo, apresentamos uma revisão bibliográfica dos modelos de dados para aplicações geográficas e uma comparação entre eles.

No Capítulo 4, apresentamos o modelo Geo-OMT. Nele foram descritas as primitivas do modelo proposto e restrições espaciais consideradas.

No Capítulo 5, o modelo proposto é avaliado através de um estudo de caso real. Foi avaliada, também, a sua expressividade em relação a outros modelos de dados para aplicações geográficas, descritos no Capítulo 3.

6.2 Principais Resultados

O principal resultado desta dissertação é a proposta de um modelo de dados para aplicações geográficas. Ele é uma extensão do modelo de objetos do OMT, que considera não só as particularidades dos dados geográficos, como também a facilidade de expressão e compreensão que um modelo de dados deve ter. Além de usufruir do alto nível de abstração da abordagem orientada a objetos, o modelo Geo-OMT procurou agrupar as primitivas geográficas propostas por diversos autores [KÖPS96, KÖPS95, PEBS97, BCMM96, OLPM97, CABE93, SCGL97, KACH95, ABCA94, CAMA95, CCHM96], além de introduzir novas primitivas que suprem algumas deficiências percebidas. A partir da criação das primitivas espaciais “todo-parte”, como de alguns relacionamentos espaciais padronizados, foram definidas algumas regras de integridade espacial. O resultado obtido foi a junção, em um único modelo, das primitivas geográficas consideradas relevantes, provendo, assim, um maior número de abstrações que facilitam a modelagem de aplicações geográficas.

Por utilizar pictogramas na representação do tipo geométrico das entidades georreferenciadas, o esquema produzido pelo uso do Geo-OMT é mais compacto, intuitivo e compreensível, do que aqueles derivados de modelos que descrevem, através de relacionamentos, o tipo geométrico. A riqueza de expressão do modelo não

prejudicou a sua capacidade de ser facilmente entendido. Um esquema menos denso é um fator que não deve ser desconsiderado nas aplicações geográficas. Aplicações em áreas urbanas, por exemplo, tendem a ser muito complexas, envolvendo um número muito grande de entidades geográficas e relacionamentos. De forma geral, o modelo Geo-OMT mostrou ser capaz de representar as particularidade dos dados geográficos mantendo maior clareza e facilidade de representação.

Em resumo, as principais contribuições apresentadas por esta dissertação são:

- levantamento dos requisitos necessários a um modelo de dados geográficos;
- levantamento dos aspectos que devem ser considerados no processo de discretização do espaço geográfico;
- um estudo dos principais modelos de dados geográficos presentes na literatura e uma comparação entre eles;
- proposta de um modelo de dados para a modelagem de aplicações geográficas, mostrando a necessidade do uso de novas primitivas de caráter geográfico;
- definição de regras de integridade espacial.

6.3 Extensões e Trabalhos Futuros

Como extensões e trabalhos futuros podemos citar os seguintes:

- **Extensão do modelo Geo-OMT para a representação dos aspectos temporais dos dados geográficos.** Apesar de toda a sua expressividade, o modelo GEO-OMT não representa o aspecto espaço-temporal [Bote95, Reno97, Worb94a] dos dados geográficos. O modelo deve ser estendido, a fim de representar classes temporais, versões e relacionamentos temporais.

- **Implementação de uma ferramenta que suporte o formalismo do Geo-OMT, facilitando a criação e edição de um esquema.** O desenvolvimento e implementação

de uma ferramenta baseada no metamodelo do Geo-OMT contribuirá para facilitar o processo de modelagem. Nela estará definida toda a sintaxe e semântica do modelo e suas regras de validação. Essa ferramenta deverá prover um editor gráfico que ofereça funcionalidade para criar e modificar o *layout* do esquema, um gerador de relatórios e um dicionário de metadados.

- **Mapeamento de um esquema utilizando o modelo Geo-OMT para os modelos relacional e orientado a objetos utilizados por SIGs comercialmente disponíveis**. Um estudo deverá ser feito de forma a definir as regras de mapeamento entre um esquema do Geo-OMT e os modelos relacional e orientado a objetos em uso nos SGBDs utilizados por diferentes SIGs comerciais (por exemplo, APIC, ARC/INFO, VISION). Através desse mapeamento será possível automatizar a geração de tabelas ou classes diretamente a partir da descrição do esquema Geo-OMT, agilizando assim o processo de implementação de uma aplicação geográfica.

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://wwwwsgi.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.

[BeGV94] BÉDARD, Y., GAGNON, P., VALLIÈRE, D. *Le formalisme MODUL-R 2.01 et le dictionnaire de données pour la conception des bases de données spatio-temporelles.* Quebec: Centre de Recherche en Géomatique, 1994.

[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.

[BoLa97] BORGES, Karla A. V., LAENDER, Alberto H. F. Geo-OMT – uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1997, São Paulo. *Anais...* p.252-262.

[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:* metodology 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:* metodology 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.

[Cama95] CÂMARA, Gilberto. *Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos*. São José dos Campos, SP: INPE, 1995. (Tese de Doutorado).

[CCHM96] CÂMARA, G., CASANOVA, M., HEMERLY, A., MAGALHÃES, G., MEDEIROS, C. A*natomia 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).

[Ceza97] CÉZAR Neto, Joel. *Gerador de esquema físico relacional a partir de um diagrama TMO para ambiente WWW*. Belo Horizonte, MG. UFMG, 1997. (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.

[CoYo91] COAD, P., YOURDON, E., 1991, *Object-Oriented Analysis.*, 2nd edition. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

[Cros93] CROSBIE, Peter. Reality of object-oriented GIS. In: 31st ANNUAL CONFERENCE OF THE URBAN AND REGIONAL INFORMATION SYSTEMS ASSOCIATION – URISA'93, Atlanta, 1993. *Proceedings*...v.1, p.188-199.

[DaBo94] DAVIS Jr., Clodoveu, BORGES, Karla A. V. Object-oriented GIS in pratice. 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

[Davi97] DAVIS Jr., Clodoveu. GIS: dos conceitos básicos ao estado da arte. *Espaço BH*, Belo Horizonte, n.1, p.5-8, 1997.

[Ditt86] DITTRICH, K. Object-oriented database systems: The notion and the issues. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON OBJECT-ORIENTED DATABASE, 1986, Pacific Groce, CA. *Proceedings*...IEEE, New York, p.2-4.

[Egen95] EGENHOFER, Max J. Object-oriented GISs: the principles. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1995, São Paulo. *Anais*... p.175-203.

[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.

[FaBo94] FAIZ, S., BOURSIER, P. Modelling and visualizing the quality of geographic information: an object-oriented approach. In: FIFTH EUROPEAN CONFERENCE AND EXHIBITION ON GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS – EGIS/MARI'94, 1994. *Proceedings...*v.1, p.161-168. (http://wwwwsgi.ursus.maine.edu/gisweb/egis/eg94018.html).

[Feut93] FEUTCHWANGER, M. *Towards a geographic semantic data model.* Simon Fraser University, 1993. (PhD thesis).

[FoLy95] FOOTE, K. E., LYNCH, M. Geographic Information Systems as an integrating technology: context, concepts, and definitions. *The Geographer's Craft Project*, Department od Geography, University of Texas, Austin, USA, 1995.

[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. G*eographical Information Systems:* principles and aplications. 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.

[GüLa94] GÜNTHER, Oliver, LAMBERTS, Johannes. Object-oriented techniques for management of geographic and environmental data. *The Computer Journal*, v.37, n.1, p.16-25, 1994.

[Hann95] HANNA, Magdy S. A close at the IFO data model. *Sigmod Record*, v.24, n.1, p.21-26, 1995.

[HaTr96] HADZILACOS, T., TRYFONA, N. Logical data modelling for geographical applications. *International Journal of Geographical Information Science*, London, v.10, n.2, p.179-203, 1996.

[Helo95] HELOKUNNAS, Tuija. Geographical object modelling technique. In: GIS/LIS'95, 1995, Nashville. *Proceedings...* v1, p.418-427.

[HuKi87] HULL, Richard, KING, Roger. Semantic database modeling: survey, apllications, and research issues. *ACM Computing Surveys*, v.19, n.3, p.201-260, 1987.

[KaCh95] KANG, S., CHOY, Y. Object-Relational data modeling for GIS. In: GIS/LIS'95, 1995, Nashville. *Proceedings...* v1, p.535-544.

[Kemp92] KEMP, Karen K. *Environmental modeling with GIS*: a strategy for dealing with spatial continuity. Santa Barbara: University of California, 1992. (PhD thesis).

[Kooy94] KOOY, Jan Willem Van der. Object-orientation and GIS users. In: FIFTH EUROPEAN CONFERENCE AND EXHIBITION ON GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS – EGIS/MARI'94, 1994. *Proceedings...*v.2, p.1214-1223.
(http://wwwwsgi.ursus.maine.edu/gisweb/egis/eg94136.html

[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 relashionships. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.9, n.1, p.25-46, 1995.

[LiIo96] 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.

[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:* metodology 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://wwwwsgi.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.

[Oliv88] OLIVEIRA, Cêurio de. *Curso de Cartografia Moderna*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE, 1988. 152p.

[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.

[PeDu95] PEUQUET, Donna J., Duan, Niu. An event-based spatiotemporal data model (ESTM) for temporal analysis of geographical data. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.9, n.1, p.7-24, 1995.

[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.

[Reno97] RENOLEN, Agnar. Conceptual modelling and spatiotemporal information systems: how to model the real world. In: 6th SCANDINAVIAN RESEARCH CONFERENCE ON GIS (SCANGIS'97), Estocolmo, 1997. Proceedings... (http://www.iko.unit.no/home/agnar)

[ROAl94] RODRIGUES, M., ALMEIDA, O. W. F. Modelagem de dados espaciais para sistemas de informações geográficas. In: GIS BRASIL94, 1994, Curitiba. *Anais...* p.8-17.

[RuLa95] RUAS, A., LAGRANGE, J. P. Data and knowledge modelling for generalization. In: MÜLLER, J. C., LAGRANGE, J. P., WEIBEL, R. *GIS and generalization:* metodology 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....*

[sasb94] SACCHI, Cristiano, SBATTELLA, Licia. An object-oriented approach to spatial databases. In: FIFTH CONFERENCE AND EXIBITION ON GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS – EGIS/MARI'94, 1994. *Proceedings...*v.2,p.1204-1213. (http://wwwwsgi.ursus.maine.edu/gisweb/egis/eg94135.html

[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.

[shzh95] SHI, W., ZHANG, M. Object-oriented approach for spatial, temporal and attribute data modelling. GIS. In: GIS/LIS'95, 1995, Nashville. *Proceedings...* v1, p.903-912.

[SiKe77] SIBLEY, E., KERSCHBERG, L. Data architecture and data model considerations. *Proceedings of the National Computer Conference*. American Federation of information Processing Socientes, n.46,1977

[SmSm77] SMITH, J., SMITH, D. Database abstraction: aggregation and generalization. *ACM Transactions on Database Systems,* v.2, n.2, 1977.

[StES90] STAR, Jeffrey, ESTES, Jonh. *Geographic Information Systems*: an introduction. New Jersey: Prentice-Hall, 1990. 303p.

[StMa97] STRAUCH, Júlia, MATTOSO, Marta. Orientação a objetos aplicada aos GIS. *Fator GIS*, n.20, p.58-60, 1997.

[TaAU96] TANG, A., ADAMS, T., USERY E. A spatial data model design for feature-based geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.10, n.5, p.643-659, 1996.

[TaRC86] TARDIEU, H., ROCHFELD, A., COLLETTI, R. *La méthode Merise:* principes et outils, Paris: Les éditions d'Organisation, 1986. Tome I.

[TaZk95] TAO, C., ZUIDAM, R., KAINZ, W. A unified spatio-temporal data model for 4-D GIS. In: GIS/LIS'95, 1995, Nashville. *Proceedings...* v1, p.967-976.

[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.

[TiSa94] TIMES, Valéria C., SALGADO, Ana Carolina. Uma modelagem orientada a objetos para aplicações geográficas. In: 9º SIMPÓSIO BRASILEIRO, 1992, São Carlos-SP. *Anais...* p.293-309.

[TrHa95] TRYFONA, N., HADZILACOS, T. Geographic applications development: models and tools the conceptual level. In: ACM-GIS INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCES IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 1995, Baltimore. *Proceedings...*

[WiAd94] WIEGAND, Nancy, ADAMS, Teresa, M. Using object-oriented database management for future-based geographic information systems. *Journal of Urban and Regional Information Systems Associations*, Madison, v.6, n.1, p.21-36, Spring 1994.

[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.

[worb94] WORBOYS, Michael F. Object-oriented approaches to geo-referenced information. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.8, n.4, p.385-399, 1994.

[worb94a] WORBOYS, Michael F. A unified model for spatial and temporal information. *The Computer Journal*, v.37, n.1, p.26-34, 1994.