

## **MODELAGEM DE DADOS EM GEOPROCESSAMENTO**

*Gilberto Câmara e José Simeão de Medeiros*

*“Na realidade, a ciência e a arte vêm aos homens por intermédio da experiência, porque a experiência criou a arte e a inexperiência, o acaso. E a arte aparece quando, de um conjunto de noções experimentadas, se exprime um único juízo universal de casos semelhantes”.*

*Aristóteles  
(Metafísica).*

### **2.1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo apresenta um modelo de dados para Geoprocessamento, projetado com técnicas de orientação-por-objetos, que permite lidar com os diversos tipos de dados ambientais. As contribuições mais relevantes do modelo são:

- apresentar uma abordagem unificada para a modelagem em Geoprocessamento, combinando as idéias de campos e objetos;
- integrar imagens de Sensoriamento Remoto e Modelos Numéricos de Terreno com mapas temáticos, mapas cadastrais e redes.
- prover suporte para representações geométricas múltiplas de uma mesma entidade do mundo real e permitir a coexistência de representações vetorial, matricial e grades num mesmo sistema.

Um *modelo de dados* é um conjunto de ferramentas conceituais utilizado para descrever como a realidade geográfica será representada no sistema. Aspecto fundamental no projeto de um SIG, o modelo descreve como a realidade

geográfica será representada no computador. Nenhuma outra decisão limita tanto a abrangência e o crescimento futuro do sistema quanto a escolha do modelo de dados.

Como indicado por Goodchild (1992a), a indústria de Geoprocessamento amadureceu a tal ponto que questões sobre estruturas de dados, algoritmos e funcionalidade contam com respostas padronizadas. Nesta situação, a modelagem de dados tem um papel crítico ao determinar a capacidade de uso e a rapidez de aprendizado do sistema.

## 2.2 VISÃO GERAL DO PROCESSO DE MODELAGEM

O processo de Modelagem é a forma que se dispõe para traduzir o mundo real em outros domínios. Uma das abordagens mais úteis para este problema é o chamado “paradigma dos quatro universos” (Gomes e Velho, 1995), que distingue:

- o universo do *mundo real*, que inclui as entidades da realidade a serem modeladas no sistema;
- o universo *matemático (conceitual)*, que inclui uma definição matemática (formal) das entidades a serem incluídas no modelo;
- o universo de *representação*, onde as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas;
- o universo de *implementação*, onde as estruturas de dados e algoritmos são escolhidos, baseados em considerações como desempenho, capacidade do equipamento e tamanho da massa de dados. É neste nível que acontece a codificação.

Esta visão do processo de modelagem está ilustrada na Figura 2.1.

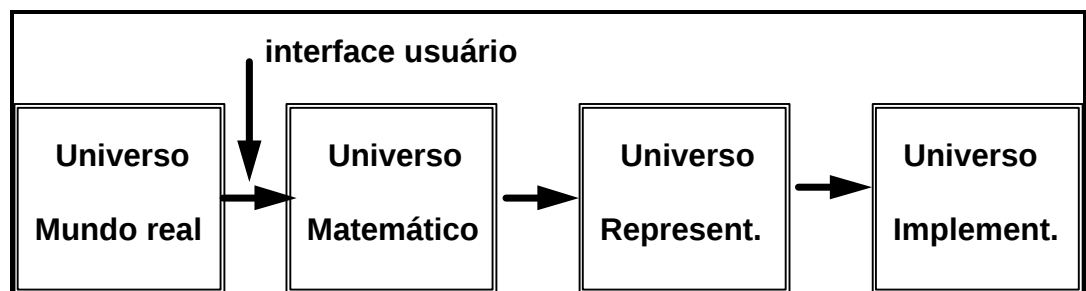


Figura 2.1 - Modelagem segundo o paradigma dos quatro universos.

A visão apresentada não se limita a sistemas de Geoprocessamento, mas representa uma perspectiva unificadora aos problemas de Computação Gráfica e Processamento de Imagens. Sua aplicação ao problema de Geoprocessamento é particularmente apropriada pois permite equacionar os problemas da área, como se pode constatar:

- no universo do *mundo real* encontram-se os fenômenos a serem representados (tipos de solo, cadastro urbano e rural, dados geofísicos e topográficos);
- no universo *conceitual (matemático)* pode-se distinguir entre as grandes classes formais de dados geográficos (*dados contínuos* e *objetos individualizáveis*) e especializar estas classes nos tipos de dados geográficos utilizados comumente (dados temáticos e cadastrais, modelos numéricos de terreno, dados de sensoriamento remoto);
- no universo de *representação* as entidades formais definidas no universo conceitual são associadas a diferentes representações geométricas, que podem variar conforme a escala e a projeção cartográfica escolhida e a época de aquisição do dado. aqui se distingue entre as representações matricial e vetorial, que podem ainda ser especializadas;
- o universo de *implementação* é onde ocorre a realização do modelo de dados através de linguagens de programação. Neste universo, escolhem-se as estruturas de dados (tais como árvores quaternárias e árvores-R) para implementar as geometrias do universo de representação;

Com base nesta visão, as dicotomias tradicionais de Geoprocessamento (campos-objetos e matricial-vetorial) podem ser resolvidas, mostrando-se que elas se encontram *em níveis distintos de abstração*.

Esta análise também indica que a interface de usuário de um SIG deve, tanto quanto possível, refletir o universo conceitual e esconder detalhes dos universos de representação e implementação. No nível conceitual, o usuário lida com conceitos mais próximos de sua realidade e minimiza a complexidade envolvida nos diferentes tipos de representação geométrica.

## 2.3 O UNIVERSO DO MUNDO REAL

Pretende-se construir um modelo não limitado a uma área particular de aplicação de Geoprocessamento e que possa incorporar aplicações tão diversas como Estudos Ambientais, Agricultura, Geologia e Redes. Para tanto, será importante considerar os diferentes tipos de dados utilizados em Geoprocessamento.

### 2.3.1 MAPAS TEMÁTICOS

Mapas temáticos descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, como os mapas de pedologia e a aptidão agrícola de uma região. Estes dados, obtidos a partir de levantamento de campo, são inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens. A Figura 2.2 abaixo mostra um exemplo de um mapa de pedologia, inserido no SIG através de digitalização manual, a partir do mapa resultante do Levantamento de Reconhecimento Semidetalhado dos Solos da Região dos Inhamuns-Salgado - CE (SUDEC, 1980).

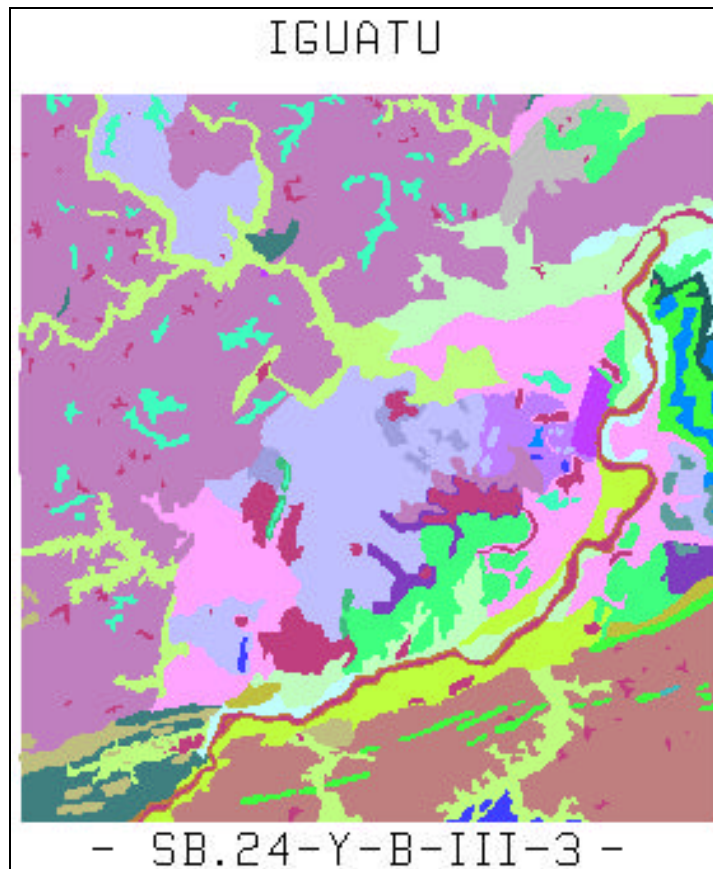


Figura 2.2 - Exemplo de Mapa Temático.

### 2.3.2 MAPAS CADASTRAIS

Um mapa cadastral distingue-se de um mapa temático, pois cada um de seus elementos é um *objeto geográfico*, que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Por exemplo, os lotes de uma cidade são elementos do espaço geográfico que possuem atributos (dono, localização, valor venal, IPTU devido, etc.) e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas. Os atributos estão armazenados num sistema gerenciador de banco de dados, conforme descrito em detalhe na seção 2.4.

A Figura 2.3 mostra um exemplo de mapa cadastral da América do Sul, onde os países possuem atributos não-gráficos (PIB e população).

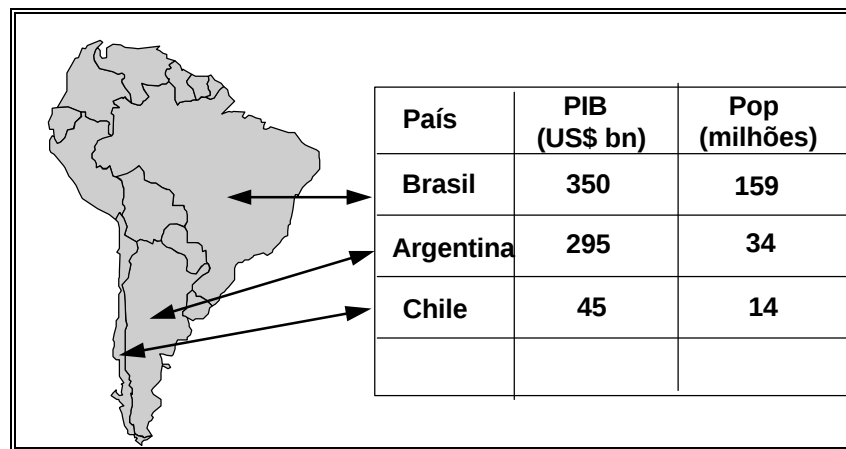


Figura 2.3 - Exemplo de mapa cadastral (países da América do Sul).

A distinção entre mapas cadastrais e mapas temáticos não é usual na literatura de SIG, mas é extremamente importante para caracterizar de forma adequada os tipos de dados e as aplicações em Geoprocessamento. Quando falamos em mapas temáticos, estamos lidando, na absoluta maioria dos casos, com informações imprecisas. Por exemplo, no caso de um mapa temático de solos, os limites indicados no mapa são aproximações da realidade. Já no caso de um mapa cadastral (como a divisão política mostrada na figura 2.3), temos medidas precisas e determinadas.

No dizer de Burrough (1986), “os limites desenhados em mapas temáticos (como solo, vegetação, ou geologia) raramente são precisos e desenhá-los como linhas finas muitas vezes não representa adequadamente seu caráter. Assim, talvez não nos devamos preocupar tanto com localizações exatas e representações gráficas elegantes. Se pudermos aceitar que limites precisos entre padrões de vegetação e solo raramente ocorrem, nós estaríamos livres para realizar análises geográficas nos formatos mais convenientes”.

### 2.3.3 REDES

Em Geoprocessamento, o conceito de "rede" denota as informações associadas a:

- Serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone;
- Redes de drenagem (bacias hidrográficas);
- Rodovias.

No caso de redes, cada objeto geográfico (e.g: cabo telefônico, transformador de rede elétrica, cano de água) possui uma *localização geográfica exata* e está sempre associado a atributos descritivos presentes no banco de dados.

As informações gráficas de redes são armazenadas em coordenadas vetoriais, com *topologia arco-nó*: os atributos de arcos incluem o sentido de fluxo e os atributos dos nós sua impedância (custo de percorrimento). A topologia de redes constitui um *grafo*, que armazena informações sobre recursos que fluem entre localizações geográficas distintas, como ilustra a Figura 2.4.

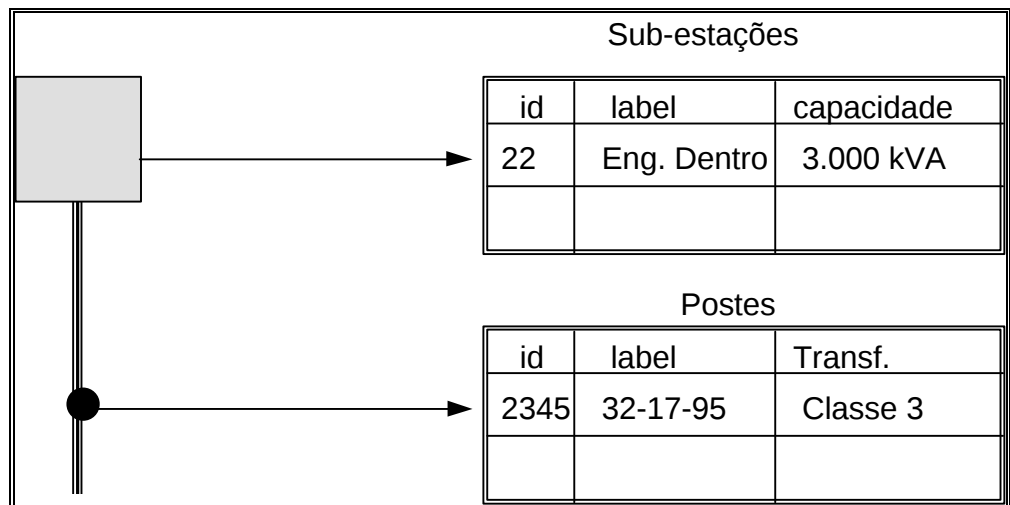


Figura 2.4 - Elementos de Rede.

Como observa Goodchild (1992b), uma rede é um sistema de endereçamento 1-D embutido no espaço 2-D. Para citar um exemplo, tome-se uma rede elétrica, que tem, entre outros, os componentes: postes, transformadores, sub-estações, linhas de transmissão e chaves. As linhas de transmissão serão representadas topologicamente como os arcos de um *grafo* orientado, estando as

demais informações concentradas em seus nós. Note-se que os algoritmos de cálculo de propriedades da rede podem, em sua grande maioria, ser resolvidos apenas com a topologia da rede e de seus atributos.

As redes formam um capítulo à parte na tipologia de SIGs, pois - à diferença dos outros tipos de dados - são o resultado direto da intervenção humana sobre o meio-ambiente. Cada aplicação de rede tem características próprias e com alta dependência cultural (p.ex., a largura das auto-estradas nos EUA é distinta das usadas em São Paulo).

#### 2.3.4 IMAGENS

Obtidas por satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados, as imagens representam formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem (denominado "pixel") tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente. A Figura 2.5 mostra uma composição colorida falsa cor das bandas 3 (associada a cor Azul), 4 (Verde) e 5 (Vermelha) do satélite TM-Landsat.

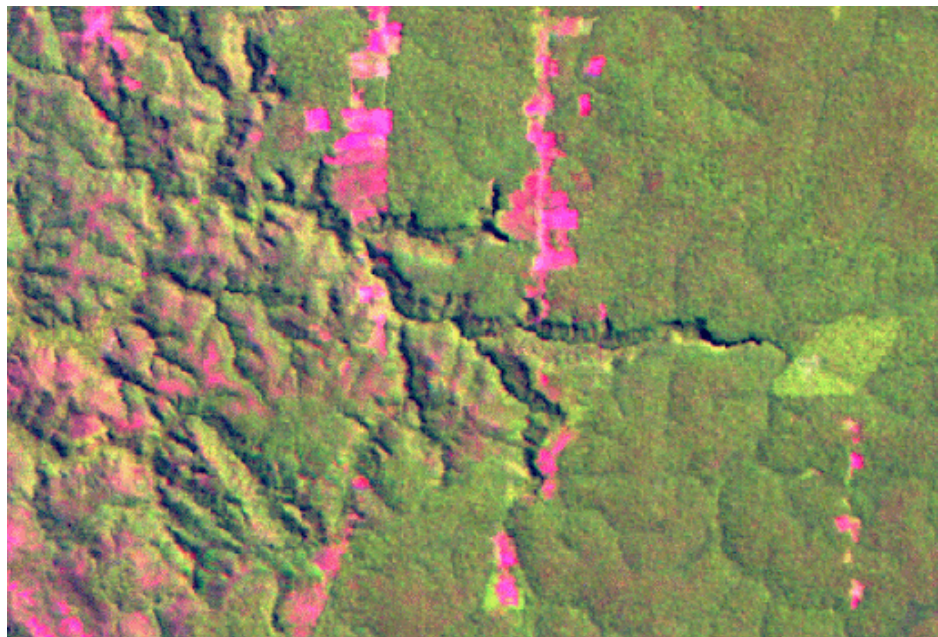


Figura 2.5 - Exemplo de Imagem.

Pela natureza do processo de aquisição de imagens, os objetos geográficos estão contidos na imagem, sendo necessário recorrer a técnicas de fotointerpretação e de classificação para individualizá-los.

Características importantes de imagens de satélite são: o número e a largura de bandas do espectro eletromagnético imageadas (*resolução espectral*), a menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (*resolução espacial*), o nível de quantização registrado pelo sistema sensor (*resolução radiométrica*) e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (*resolução temporal*).

### 2.3.5 MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO

O termo *modelo numérico de terreno* (ou MNT) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar grandezas geoquímicas, como o teor de minerais, ou propriedades do solo, como o teor de matéria orgânica, a acidez ou a condutividade elétrica.

Entre os usos de modelos numéricos de terreno, pode-se citar (Burrough, 1986):

- (a) Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- (b) Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- (c) Cômputo de mapas de declividade e exposição para apoio a análises de geomorfologia e erodibilidade;
- (d) Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- (e) Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Um MNT pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos  $(x, y)$ , em um referencial qualquer, com atributos denotados de  $z$ , que descrevem a variação contínua da superfície. Este conjunto de pontos é também denominado de amostras 3D.

De acordo com Pettinati (1983), a criação do modelo matemático de uma superfície consiste no agrupamento de amostras  $(x,y,z)$  que descrevem a superfície real, de maneira que todo o conjunto simule de modo ideal o comportamento da superfície original.

## 2.3.6 APLICAÇÕES TÍPICAS DE GEOPROCESSAMENTO

É importante mapear as diversas áreas de aplicação de Geoprocessamento em função dos tipos de dados utilizados, como ilustrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1

## APLICAÇÕES TÍPICAS DE GEOPROCESSAMENTO

| <i>Aplicações</i>               | <i>Escalas típicas</i>  | <i>Tipos de dados</i>                                    | <i>Representações</i><br><i>Gráficas</i> | <i>Operações</i>                                       |
|---------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Floresta                        | 1:10.000<br>1:1.000.000 | a<br>dados temáticos,<br>imagens                         | matricial,<br>vetorial                   | Classif. imagens,<br><br>Consulta espacial             |
| Agricultura                     | 1:5.000<br>1:250.000    | a<br>dados temáticos,<br>imagens, MNT,<br>cadastro rural | matricial,<br>vetorial, grades,<br>TIN   | Análise espacial,<br>declividade, consulta<br>espacial |
| Geologia -<br>Geomorfologia     | 1:50.000<br>1:5.000.000 | a<br>MNT, imagens,<br>mapas temáticos                    | grades, matricial<br>vetorial            | Transf. IHS,<br>visualiz. 3D                           |
| Redes                           | 1:1.000<br>1:10.000     | a<br>Redes lineares<br>(topologia)                       | vetorial                                 | Consulta espacial,<br>cálculos dedicados               |
| Estudos Urbanos<br>e Rurais     | 1:1.000<br>1:25.000     | a<br>redes, cadastro<br>urbano e rural                   | vetorial                                 | Consulta espacial                                      |
| Estudos Sociais<br>e Econômicos | Várias                  | Dados<br>alfanuméricos,<br>cadastros                     |                                          | Consulta espacial,<br>cálculos dedicados               |
|                                 |                         |                                                          |                                          |                                                        |

## 2.4 O UNIVERSO CONCEITUAL

### 2.4.1 VISÃO GERAL

Em Geoprocessamento, o espaço geográfico é modelado segundo duas visões complementares: os modelos de *campos* e *objetos* (Worboys, 1995). O modelo de campos enxerga o espaço geográfico como uma superfície contínua, sobre a qual variam os fenômenos a serem observados segundo diferentes distribuições. Por exemplo, um mapa de vegetação descreve uma distribuição que associa a cada ponto do mapa um tipo específico de cobertura vegetal, enquanto um mapa geoquímico associa o teor de um mineral a cada ponto.

O modelo de objetos representa o espaço geográfico como uma coleção de entidades distintas e identificáveis. Por exemplo, um cadastro espacial dos lotes de um município identifica cada lote como um dado individual, com atributos que o distinguem dos demais. Igualmente, poder-se-ia pensar como geo-objetos os rios de uma bacia hidrográfica ou os aeroportos de um estado.

Para definir o modelo, seguir-se-ão os seguintes passos:

1. definir as classes básicas do modelo e estabelecer as suas relações, dentro dos princípios de especialização, generalização e agregação;
2. estabelecer como é possível, a partir do modelo, definir um esquema conceitual para um banco de dados geográfico, por especialização das classes básicas.

### 2.4.2 CLASSES DO UNIVERSO CONCEITUAL

As classes básicas do modelo, definidas a seguir, são: *geo-campo*, *geo-objeto*, *mapa cadastral*, *objetos não-espaciais*, *plano de informação* e *banco de dados geográfico*.

#### 2.4.2.1 Definições Preliminares

Inicialmente, será importante estabelecer a base geométrica na qual as classes do modelo são definidas. A partir de uma região contínua da superfície terrestre pode-se definir o conceito de *região geográfica*.

**Definição 2.1. Região Geográfica.**

Define-se uma *região geográfica*  $R$  como uma superfície qualquer pertencente ao espaço geográfico, que pode ser representada num plano ou reticulado, dependente de uma projeção cartográfica.

A região geográfica serve de suporte geométrico para localização de entidades geográficas, pois toda entidade geográfica será representada por um ponto ou um conjunto de pontos em  $R$ . A definição de região geográfica proposta não restringe a escolha da representação geométrica (matricial ou vetorial) associada aos objetos geográficos.

**2.4.2.2 Geo-Campos****Definição 2.2. Geo-Campo.**

Um geo-campo representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica, *num dado tempo*  $t$ .

Múltiplas representações de um mesmo *geo-campo* podem significar a variação de uma dada variável no tempo  $t_1, t_2, \dots, t_{N-1}$ . Desta maneira torna-se possível representar as diferentes cronologias de alguns temas, tais como as mudanças no uso e cobertura do solo, a sazonalidade da vegetação ou a dinâmica das variáveis climáticas.

Os geo-campos podem ser especializados em:

- TEMÁTICO - dada uma região geográfica  $R$ , um *geo-campo temático* associa a cada ponto do espaço um *tema* de um mapa (p.ex. um geo-campo de vegetação é caracterizado pelo conjunto de temas {floresta densa, floresta aberta, cerrado, ...});
- NUMÉRICO - dada uma região geográfica, um *geo-campo numérico* associa, a cada ponto do espaço, um valor real (p. ex. um mapa de campo magnético ou mapa de altimetria);
- DADO\_SENSOR\_REMOTO - esta classe é uma especialização de NUMÉRICO, obtida através de discretização da resposta recebida por um sensor (passivo ou ativo) de uma área da superfície terrestre.

As Figuras 2.6 e 2.7, apresentam exemplos de geo-campos.

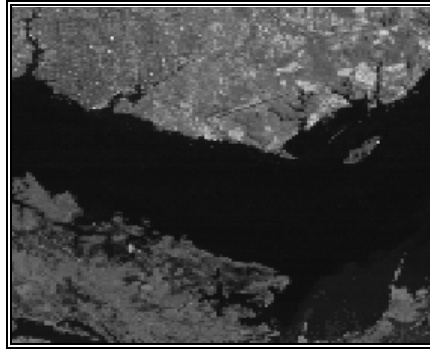


Figura 2.6 - Dado\_Sensor\_Remoto (Imagem LANDSAT de Manaus).

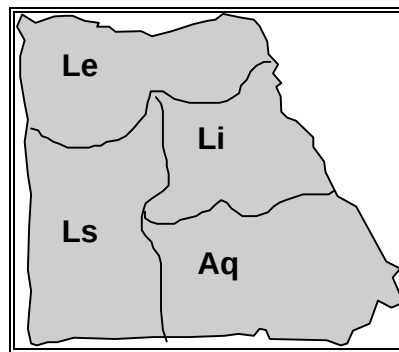


Figura 2.7 - Geo-campo temático (solos).

#### 2.4.2.3 Geo-Objeto

##### *Definição 2.3. Geo-Objeto*

Um geo-objeto é um elemento único que possui atributos não-espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas. A localização pretende ser exata e o objeto é distinguível de seu entorno.

Esta definição tem três grandes motivações adicionais:

1. *As projeções cartográficas:* a projeção planar da Terra, a partir de escalas macroregionais, é feita com o uso de quadrículas que estão particionadas em sistemas de referência independentes que definem recortes arbitrários no espaço e podem dividir a localização de um geo-objeto. Por exemplo, um particionamento cartográfico da Amazônia na projeção UTM, escala 1:250.000, faz com que os principais rios tenham representações geométricas descontínuas em vários mapas;

2. *Representações geométricas em diferentes escalas*: na prática, num mesmo banco de dados geográfico, podem conviver representações da mesma realidade geográfica em diferentes escalas geográficas. Por exemplo, considere-se um conjunto de mapas dos municípios do Estado de São Paulo, que inclui um mapa geral (na escala de 1:1.000.000) e mapas regionais (na escala de 1:100.000). Nesta situação, um mesmo geo-objeto (p.ex., o município de São José dos Campos) teria duas representações geométricas: uma contínua no mapa regional do Vale do Paraíba e outra descontínua nas folhas na escala 1:100.000;
3. *Múltiplas representações temporais*: as diferentes representações de um mesmo objeto podem corresponder a variações temporais do mesmo, como no caso de um lago que teve suas bordas alteradas<sup>1</sup>;

Para ilustrar este conceito, considere-se a Figura 2.8, que mostra um banco de dados da Amazônia, onde os retângulos pontilhados representam o recorte espacial do banco de dados. Entidades como os rios Amazonas e Xingú têm representações em diferentes particionamentos espaciais do banco de dados.

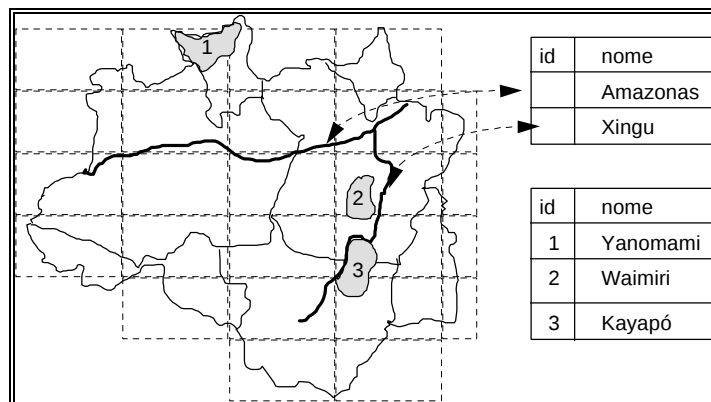


Figura 2.8 - Princípio de identidade em bancos de dados geográficos.

#### 2.4.2.4 Objeto Não-Espacial

Em muitas situações é conveniente permitir a associação de informações não-espaciais a um banco de dados georeferenciado. Por exemplo, considere-se uma aplicação de cadastro urbano em uma prefeitura que já dispõe de um sistema para cálculo do IPTU baseado num cadastro alfanumérico de lotes. Neste caso, pode-se desejar associar o cadastro alfanumérico a dados georeferenciados

<sup>1</sup>Um caso particularmente dramático é o Mar de Aral, na ex-URSS.

contendo a localização geográfica e as dimensões destas propriedades. Para englobar estas entidades, introduz-se a noção de *objeto não-espacial*.

**Definição 2.4. Objeto não-espacial**

Um objeto não-espacial é um objeto que não possui localizações espaciais associadas.

Assim, a noção de objeto não-espacial engloba qualquer tipo de informação que não seja georeferenciada e que se queira agregar a um SIG.

O exemplo anexo mostra o caso de uma aplicação de cadastro rural, mostrada na Figura 2.9. Neste caso, tem-se os geo-objetos da classe “fazendas” (que estão referenciados espacialmente) e deseja-se estabelecer a ligação entre estes geo-objetos e a informação alfanumérica já existente sob a forma de um cadastro de propriedades. Neste caso, as informações de cadastro são consideradas um *objeto não-espacial*.

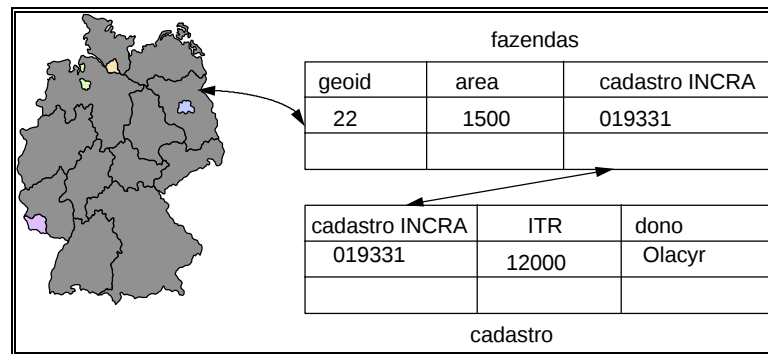


Figura 2.9 - Exemplo de ligação entre geo-objeto e objeto não-espacial.

#### 2.4.2.5 Mapa Cadastral

A definição de geo-objeto permite a associação de objetos geográficos a diferentes regiões no espaço. Como as aplicações de Geoprocessamento usualmente não armazenam ou manipulam elementos isolados, é conveniente armazenar a representação geométrica de um geo-objeto em conjunto com seus vizinhos, mantendo as relações de topologia. Por exemplo, num cadastro urbano, os lotes de um mesmo bairro são armazenados e apresentados em conjunto. Esta característica leva à introdução da idéia de *mapa cadastral*.

##### Definição 2.5 Mapa Cadastral.

Um mapa cadastral é um agrupamento de representações geométricas de geo-objetos para uma dada projeção cartográfica e região geográfica.

A relação entre o objeto cadastral e os geo-objetos nele presentes é *está\_mapeado\_em* (*is\_mapped\_in*). A Figura 2.10 ilustra um exemplo de mapa cadastral para o caso de um cadastro urbano. Cada mapa cadastral deste classe contém os mapeamentos dos geo-objetos das classes LOTES, HOSPITAIS e ESCOLAS. A classe LOTES contém objetos das classes LOTES CONSTRUÍDOS e TERRENOS. A classe ESCOLAS contém objetos das classes ESCOLA 1O. GRAU e ESCOLA 2O. GRAU.

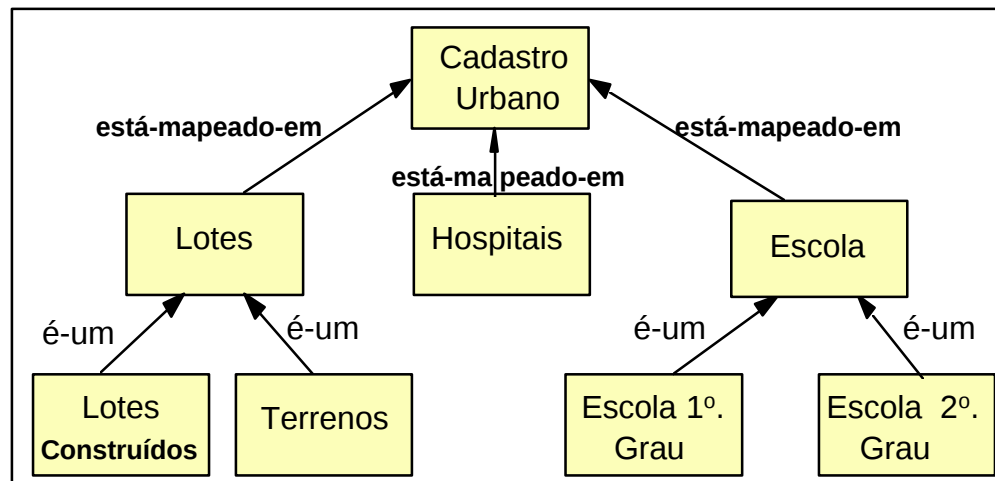


Figura 2.10 - Exemplo de objetos complexos (cadastro urbano).

Para ilustrar o conceito e o uso de mapa cadastral, considera-se ainda a Figura 2.11, onde se tem um caso de um mapa cadastral (cadastro urbano) contendo os lotes de uma parte do bairro “Jardim Esplanada” em São José dos Campos. Os geo-objetos da classe “lotes” incluem todos os lotes existentes na cidades (na Figura 2.11 apresentados sob forma de tabela). Como o mapa cadastral está limitado espacialmente, ele contém apenas as representações geométricas de uma parte dos geo-objetos (na Figura 2.11, indicados pelas setas).

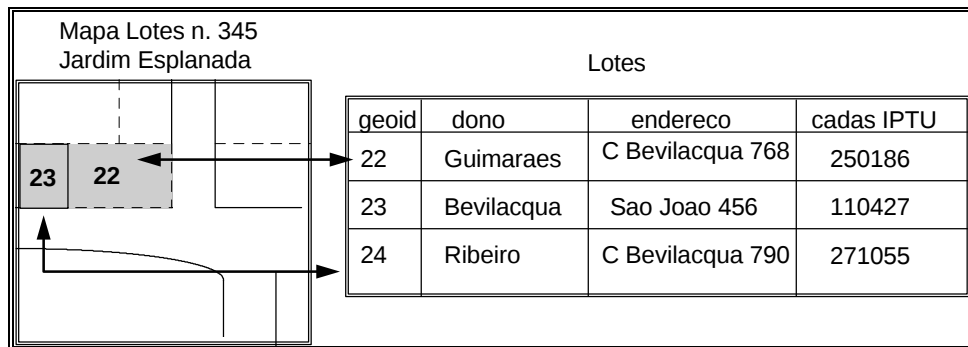


Figura 2.11 - Ilustração do conceito de mapa cadastral.

Considere-se ainda a especialização da classe CADASTRAL na classe REDE. As REDES são mapas cadastrais que utilizam a topologia arco-nó, e armazenam a localização e a simbologia associadas a estruturas linearmente conectadas. Como exemplo desta classe de objetos, considere-se a especialização da classe REDE na classe REDE ELÉTRICA. Uma instância desta classe conterá os mapeamentos de diferentes classes de geo-objetos, como mostrado na Figura 2.12.

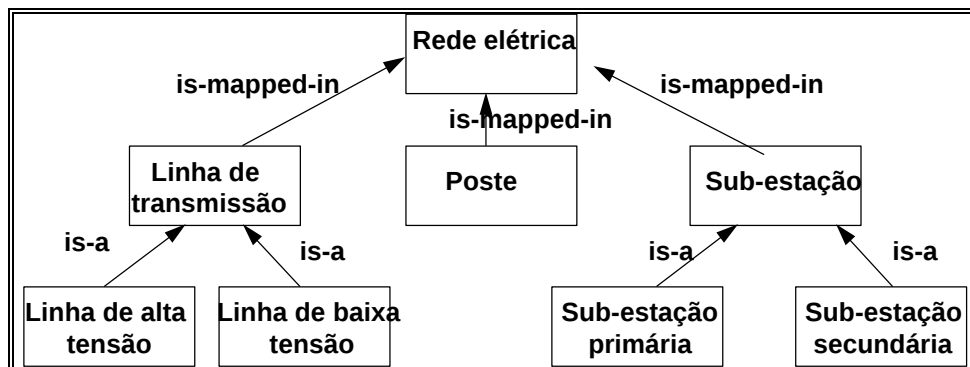


Figura 2.12 - Exemplo de objeto complexo (rede elétrica).

#### 2.4.2.6 Plano de Informação

A idéia de plano de informação é um conceito muito útil para fins de definição de interface e de operações.

*Definição 2.6. Plano de informação*

Um plano de informação é a generalização dos conceitos de geo-campos e de objeto cadastral.

Um plano de informação é uma forma de interface entre o usuário e os conceitos de geo-campo e mapa cadastral. Uma instância da classe PLANO DE INFORMAÇÃO representa, para uma dada região geográfica, o lugar geométrico de um conjunto de dados geográficos (um geo-campo ou um objeto cadastral).

#### 2.4.2.7 Banco de dados geográficos

*Definição 2.7. Banco de dados geográficos (BDG)*

Um banco de dados geográficos é composto por conjuntos de planos de informação, um conjunto de geo-objetos e um conjunto de objetos não-espaciais.

Esta definição é particularmente interessante pois não faz restrição sobre escala dos dados e nem sobre a continuidade espacial dos planos de informação que compõem o BDG. Tome-se, por exemplo, um BDG sobre a Amazônia Legal, com os seguintes dados:

- vegetação (fito-fisionomia), especialização da classe TEMÁTICO, com 780 temas de vegetação definidas pelo IBGE (projeto RADAM): 26 cartas digitalizadas a partir de mapas na escala 1:1.000.000, projeção Lambert;
- imagens de satélite, especialização da classe DADO\_SENSOR\_REMOTO, obtidas pelo satélite LANDSAT TM, em três anos (1986, 1990 e 1994): 228 imagens, projeção UTM;
- geo-campos de uso do solo, especializações da classe TEMÁTICO, com as classes: floresta, cerrado, áreas de regeneração, áreas desflorestadas, rios e nuvens. Os mapas finais serão compatíveis com a escala 1:250.000, projeção UTM;

- zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Rondônia, especialização da classe CADASTRAL, com 15 planos de informação gerados a partir de estudos e levantamentos, na escala 1:100.000.

### 2.4.3 RESUMO DO UNIVERSO CONCEITUAL

Em resumo, o universo de representação do modelo tem como entidade básica um *banco de dados geográfico*. Este banco é composto por *planos de informação*, por *geo-objetos* e por *objetos não-espaciais*. Os planos de informação podem ser *geo-campos* ou *objetos cadastrais*. Estas classes podem ser ainda especializadas para construir o esquema conceitual do banco de dados geográfico. A Figura 2.13 ilustra estas relações.

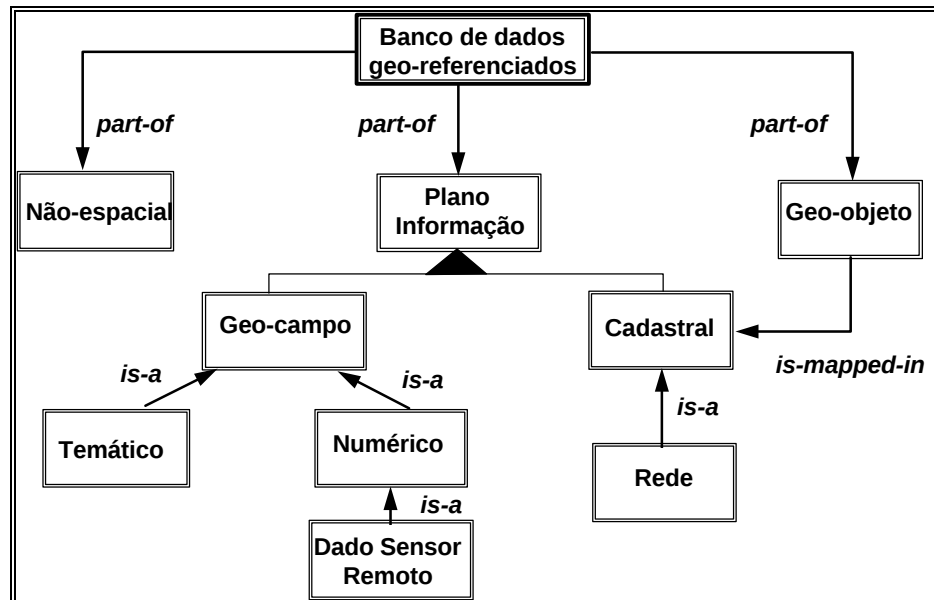


Figura 2.13 - Universo conceitual.

## 2.5 UNIVERSO DE REPRESENTAÇÃO

No universo de representação, definem-se as possíveis representações geométricas que podem estar associadas às classes do universo conceitual. Inicialmente, deve-se considerar as duas grandes classes de representações geométricas: REPRESENTAÇÃO VETORIAL e REPRESENTAÇÃO MATRICIAL.

### 2.5.1 REPRESENTAÇÃO MATRICIAL

Nesta representação, o espaço é representado como uma matriz  $P(m, n)$  composto de  $m$  colunas e  $n$  linhas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado e cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas.

A representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área por ela coberta no terreno. A Figura 2.14 mostra um mesmo mapa representado por células de diferentes tamanhos (diferentes resoluções), representando diferentes áreas no terreno.

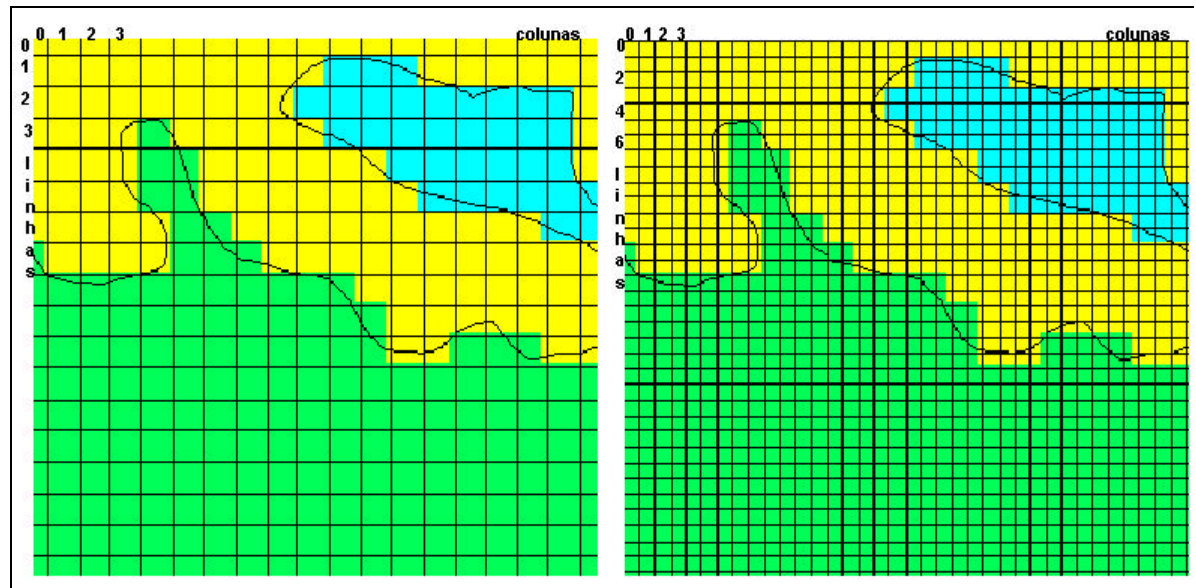


Figura 2.14 - Diferentes representações matriciais para um mapa.

Como o mapa do lado esquerdo possui uma resolução quatro vezes menor que o do mapa do lado direito, as avaliações de áreas e distâncias serão bem menos

exatas que no primeiro. Em contrapartida, o espaço de armazenamento necessário para o mapa da direita será quatro vezes maior que o da esquerda.

Os dados são codificados, célula a célula, atribuindo a cada uma o código correspondente à uma classe referente ao fenômeno estudado. Para fazer isto, é necessário estabelecer um critério a ser obedecido em toda a operação.

Pode-se, por exemplo, atribuir a cada célula o código da classe sobre a qual estiver o centro da quadrícula. Outra possibilidade é adotar-se o critério da maior ocorrência. Neste caso, o código corresponde ao da classe que ocupar a maior parte da célula.

### 2.5.2 REPRESENTAÇÃO VETORIAL

No caso de representação vetorial, consideram-se três elementos gráficos: ponto, linha e área (polígono). Deve-se ressaltar uma vez mais a importância da *topologia* na concepção de um SIG. A *topologia* define as relações invariantes a rotação, translação e escala entre as entidades gráficas no mapa, como adjacência, proximidade e pertinência.

Os *pontos*, ou elementos pontuais, abrangem todas as entidades geográficas que podem ser perfeitamente posicionadas por um único par de coordenadas X e Y. Entretanto, além das coordenadas, outros *dados não-espaciais* (atributos) podem ser arquivados para indicar de que tipo de ponto se está tratando.

As *linhas*, arcos, ou elementos lineares são um conjunto de pontos conectados. Além das coordenadas dos pontos que compõem a linha, deve-se armazenar informação que indique de que tipo de linha se está tratando, ou seja, a que atributo ela está associada.

As *áreas* ou polígonos são representados pela lista de linhas que a compõem.

### 2.5.2.1 TOPOLOGIA ARCO-NÓ

A topologia arco-nó é a representação vetorial associada a uma rede linear conectada. Um *nó* pode ser definido como o ponto de intersecção entre duas ou mais linhas, correspondente ao ponto inicial ou final de cada linha. Nenhuma linha poderá estar desconectada das demais para que a topologia da rede possa ficar totalmente definida.

O conhecimento das relações topológicas entre as linhas pode ser de fundamental importância no caso de redes. Para exemplificar, considere-se a Figura 2.15, que mostra uma parte de uma rede de distribuição elétrica, com os seus diversos componentes (sub-estação, rede, poste, transformador, consumidor).

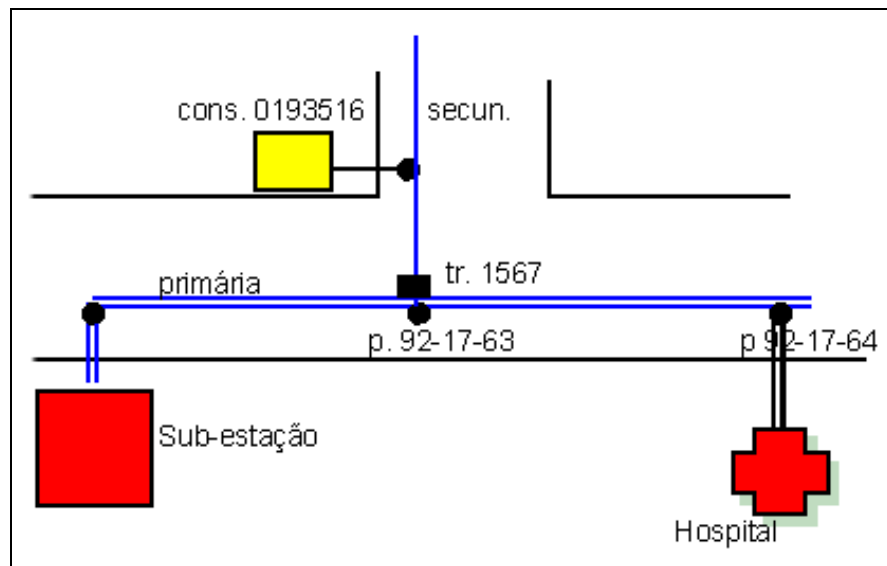


Figura 2.15 - Exemplo de topologia arco-nó (rede elétrica).

### 2.5.2.2 TOPOLOGIA ARCO-NÓ-POLÍGONO

A topologia arco-nó-polígono é utilizada quando se quer representar elementos gráficos do tipo área. Seu objetivo é descrever as propriedades topológicas de áreas de tal maneira que os *atributos não-espaciais* associados aos elementos ou entidades poligonais possam ser manipulados da mesma forma que os correspondentes elementos em um mapa temático analógico.

Neste caso, faz-se necessário armazenar informação referente aos elementos vizinhos, da mesma forma que na estrutura de redes deviam ser definidas as ligações entre as linhas. A Figura 2.16 mostra de forma simplificada um exemplo desta estrutura topológica.

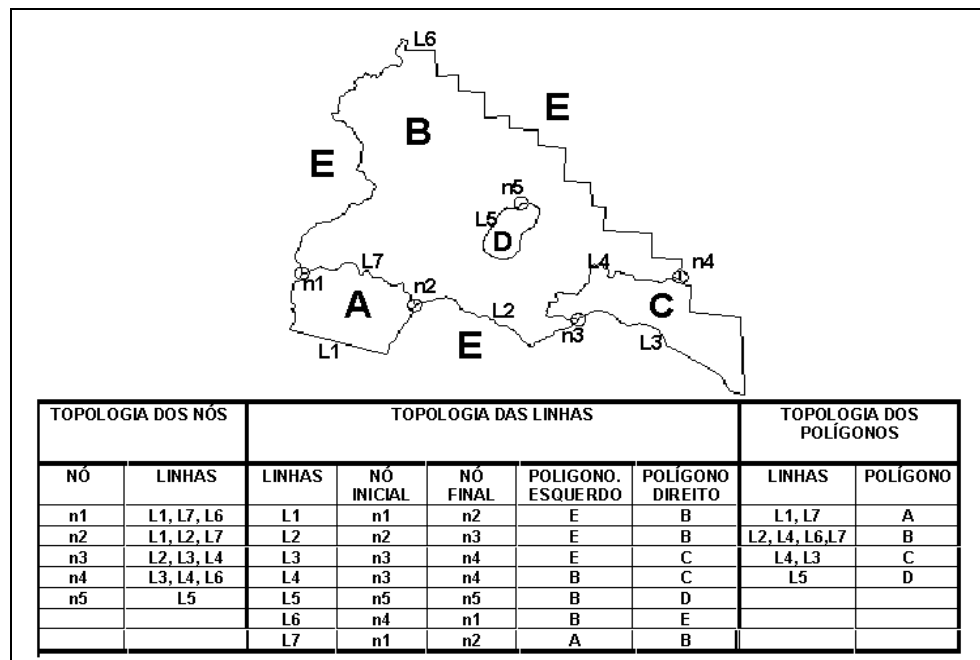


Figura 2.16 - Estrutura topológica do tipo arco-nó-polígono.

### 2.5.3 COMPARAÇÃO ENTRE REPRESENTAÇÕES DE MAPAS TEMÁTICOS

Como os mapas temáticos admitem tanto a representação matricial quanto a vetorial, é relevante compará-las. Para a produção de cartas e em operações onde se requer maior precisão, a representação vetorial é mais adequada. As operações de álgebra de mapas são mais facilmente realizadas no formato matricial. No entanto, para um mesmo grau de precisão, o espaço de armazenamento requerido por uma representação matricial é substancialmente maior. Isto é ilustrado na Figura 2.17

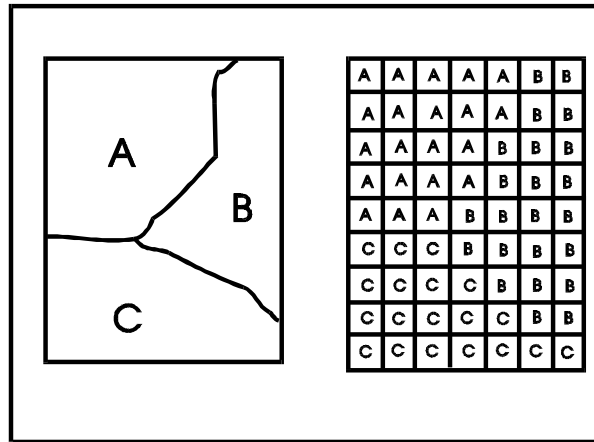


Figura 2.17 - Representação vetorial e matricial de um mapa temático.

A Tabela 2.2 apresenta uma comparação entre as vantagens e desvantagens de armazenamento matricial e vetorial para mapas temáticos. Esta comparação leva em conta os vários aspectos: relacionamentos espaciais, análise, armazenamento. Nesta tabela, o formato mais vantajoso para cada caso é apresentado em destaque.

TABELA 2.2

#### COMPARAÇÃO ENTRE REPRESENTAÇÕES PARA MAPAS TEMÁTICOS

| <b>Aspecto</b>                   | <b>Representação Vetorial</b>                                                | <b>Representação Matricial</b>                                                                   |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Relações espaciais entre objetos | Relacionamentos topológicos entre objetos disponíveis                        | Relacionamentos espaciais devem ser inferidos                                                    |
| Ligação com banco de dados       | Facilita associar atributos a elementos gráficos                             | Associa atributos apenas a classes do mapa                                                       |
| Análise, Simulação e Modelagem   | Representação indireta de fenômenos contínuos<br>Álgebra de mapas é limitada | Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço<br>Simulação e modelagem mais fáceis |
| Escala de trabalho               | Adequado tanto a grandes quanto a pequenas escalas                           | Mais adequado para pequenas escalas (1:25.000 e menores)                                         |
| Algoritmos                       | Problemas com erros geométricos                                              | Processamento mais rápido e eficiente.                                                           |
| Armazenamento                    | Por coordenadas (mais eficiente)                                             | Por matrizes                                                                                     |

## 2.5.4 REPRESENTAÇÕES DE MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO

### 2.5.4.1 GRADE REGULAR

A *grade regular* é uma representação matricial onde cada elemento da matriz está associado a um valor numérico, como mostra a Figura 2.18. Para a geração da grade torna-se necessário estimar, através de interpoladores matemáticos, os valores para as células que não possuem medidas de elevação, considerando-se a vizinhança das medidas de elevação conhecidas.

Os procedimentos de interpolação para geração de grades regulares a partir de amostras variam de acordo com a grandeza medida. No caso de altimetria, é comum o uso de funções de ponderação por inverso do quadrado da distância. Já para variáveis geofísicas ou geoquímicas, procedimentos de filtragem bidimensional ou de geoestatística (como a *krigeagem*) são utilizados.

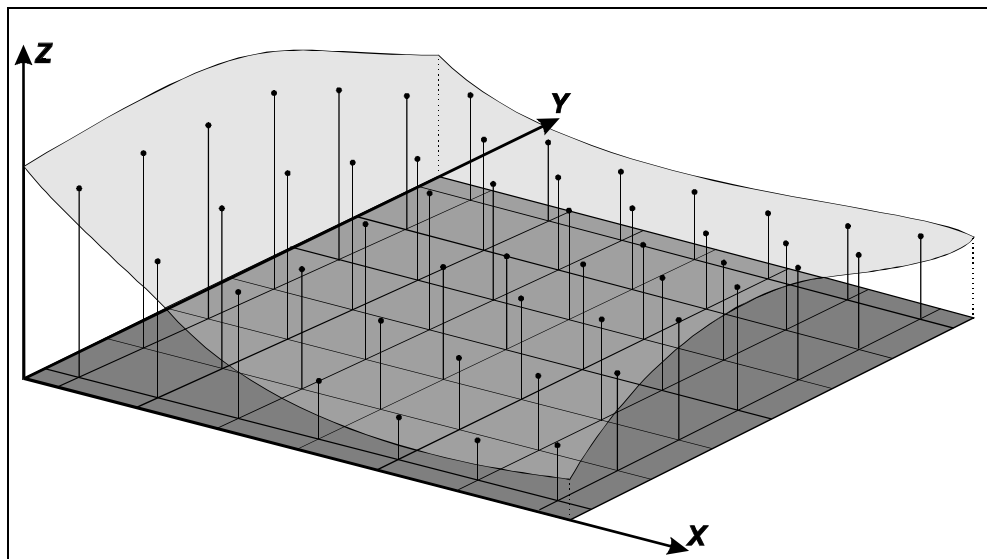


Figura 2.18 - Superfície e grade regular correspondente. (Fonte: Namikawa 1995).

#### 2.5.4.2 GRADES TRIANGULARES

A *grade triangular* ou TIN (do inglês “triangular irregular network”) é uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo *nó-arco* e representa uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenados as coordenadas de localização (x, y) e o atributo z, com o valor de elevação ou altitude. Em geral, nos SIGs que possuem pacotes para MNT, os algoritmos para geração da grade triangular baseiam-se na triangulação de Delaunay com restrição de região.

Quanto mais equiláteras forem as faces triangulares, maior a exatidão com que se descreve a superfície. O valor de elevação em qualquer ponto dentro da superfície pode ser estimado a partir das faces triangulares, utilizando-se interpoladores. A Figura 2.19 mostra uma superfície tridimensional e a grade triangular correspondente.

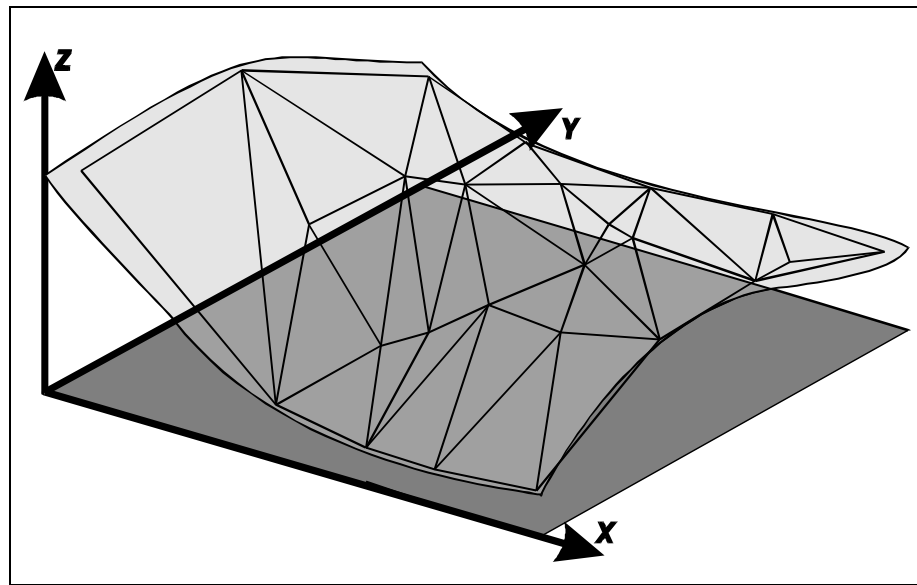


Figura 2.19 - Superfície e malha triangular correspondente. (Fonte: Namikawa 1995).

#### 2.5.4.3 COMPARAÇÃO ENTRE REPRESENTAÇÕES DE MNT

As grades triangulares são normalmente melhores para representar a variação do terreno, pois capturam a complexidade do relevo sem a necessidade de grande quantidade de dados redundantes. As grades regulares têm grande redundância em terrenos uniformes e dificuldade de adaptação a relevos de natureza distinta no mesmo mapa, por causa da grade de amostragem fixa.

Para o caso de variáveis geofísicas e para operações como visualização 3D, as grades regulares são preferíveis, principalmente pela maior facilidade de manuseio computacional. A Tabela 2.3 resume as principais vantagens e desvantagens de grades regulares e triangulares.

TABELA 2.3

#### COMPARAÇÃO ENTRE GRADES REGULARES E TRIANGULARES PARA REPRESENTAR MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO

|           | <i>Grade triangular</i>                                                                           | <i>Grade regular</i>                                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Vantagens | 1. Melhor representação de relevo complexo<br>2. Incorporação de restrições como linhas de crista | 1. Facilita manuseio e conversão<br>2. Adequada para geofísica e visualização 3D |
| Problemas | 1. Complexidade de manuseio<br>2. Inadequada para visualização 3D                                 | 1. Representação relevo complexo<br>2. Cálculo de declividade                    |

Os modelos numéricos de terreno também podem ser convertidos para mapas temáticos e para imagens. Em ambos os casos, a grandeza numérica é quantizada, seja para um número pequeno de valores (caso de mapas temáticos) seja para a variação associada a imagens (valores discretos).

### 2.5.5 REPRESENTAÇÕES COMPUTACIONAIS DE ATRIBUTOS NÃO-ESPACIAIS

Entende-se por *atributo não-espacial* qualquer informação descritiva (nomes, números, tabelas e textos) relacionada com um único objeto, elemento, entidade gráfica ou um conjunto deles, que caracteriza um dado fenômeno geográfico.

Inicialmente os SIGs armazenavam tanto as entidades gráficas quanto os atributos não-espaciais em sistemas próprios de arquivos internos. Permitiam ainda que os *atributos não-espaciais* fossem inseridos no sistema durante, ou imediatamente após, a entrada dos objetos ou entidades gráficas que representavam. Estes procedimentos eram problemáticos quando havia numerosa quantidade de *atributos não-espaciais* a serem relacionados com os objetos.

Além disso, as ferramentas de busca, recuperação, manutenção e análise destes sistemas deixavam a desejar, quando comparadas aos tradicionais Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD). Um SGBD é um sistema de banco de dados que funciona independentemente do sistema aplicativo, armazenando os dados em arquivos no disco rígido e carregando-os em memória para sua manipulação. Assegura três requisitos importantes na operação de dados: *integridade* - controle de acesso por vários usuários; *eficiência* - acesso e modificações de grande volume de dados e *persistência* - manutenção de dados por longo tempo, independente dos aplicativos que dão acesso ao dado (Câmara, 1996a).

A organização de bancos de dados geográficos mais utilizada na prática é a chamada *estratégia dual*, descrita a seguir. Para alternativas, o leitor deverá reportar-se a Câmara et al. (1996a).

#### 2.5.5.1 Estratégia Dual

Um SIG implementado com a estratégia dual utiliza um SGBD relacional para armazenar os atributos convencionais dos objetos geográficos (na forma de tabelas) e arquivos para guardar as representações geométricas destes objetos. No *modelo relacional*, os dados são organizados na forma de uma *tabela* onde as *linhas* correspondem aos *dados* e as *colunas* correspondem aos *atributos*.

A entrada dos *atributos não-espaciais* é feita por meio de um SGBD relacional e para cada entidade gráfica inserida no sistema é imposto um identificador único ou *rótulo*, através do qual é feita uma *ligação lógica* com seus respectivos atributos não-espaciais armazenados em tabelas de dados no SGBD, como ilustrado na Figura 2.20.

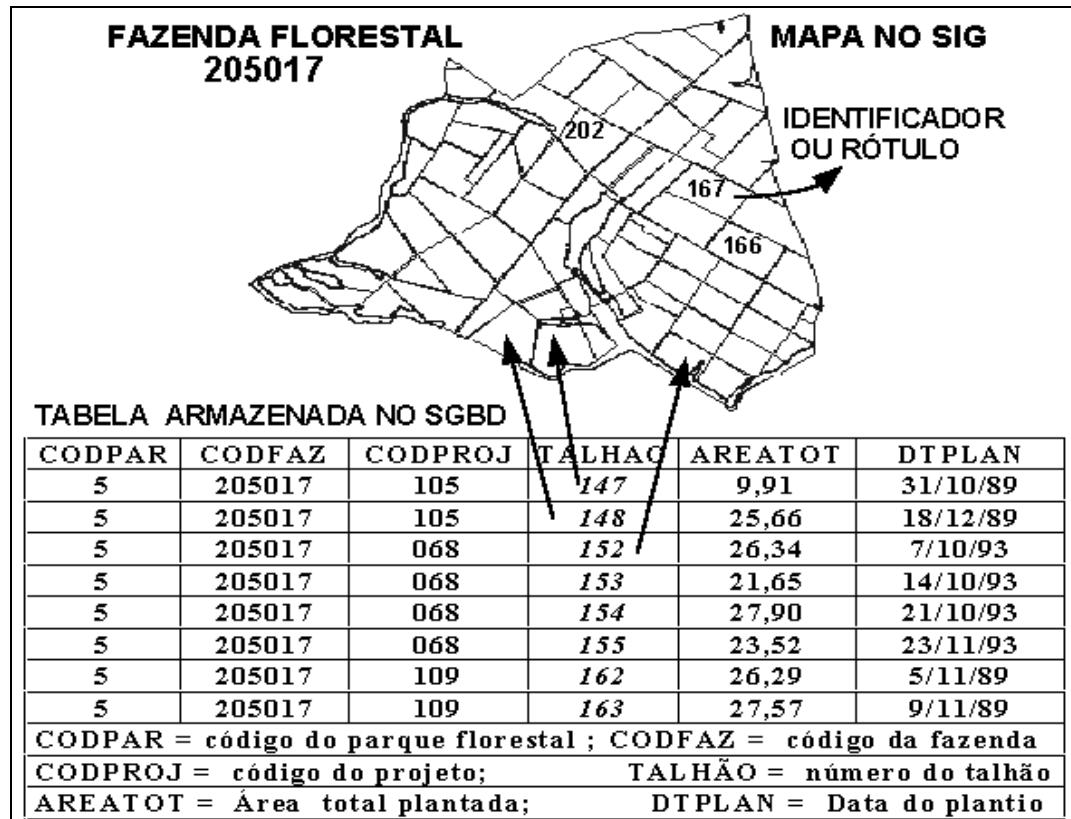


Figura 2.20 - Estratégia dual para bancos de dados geográficos.

A Figura 2.20 exemplifica as ligações lógicas criadas entre os rótulos dos talhões de um mapa florestal e seus atributos correspondentes (registros no “campo” ou *coluna* TALHÃO) numa tabela de banco de dados.

O mesmo tipo de relacionamento lógico pode ser feito em outros casos, como por exemplo: moradores em um lote, lotes em uma quadra, quadras em bairro, bairros em uma cidade; hidrantes de segurança ou telefones públicos ao longo de uma avenida; postos de serviço e restaurantes ao longo de uma rodovia.

A principal vantagem desta estratégia é poder utilizar os SGBDs relacionais de mercado. No entanto, como as representações geométricas dos objetos espaciais estão fora do controle do SGBD, esta estrutura dificulta o equacionamento das questões de otimização de consultas, gerência de transações e controle de integridade e de concorrência. Estes problemas só podem ser resolvidos através de implementações sofisticadas das camadas superiores da arquitetura genérica, que operem coordenadamente com o SGBD convencional.

Exemplos de sistemas comerciais baseados em estratégia dual são o ARC/INFO (Morehouse, 1992), MGE (Intergraph, 1990) e o SPRING (Câmara et al., 1996b).

## 2.6 UNIVERSO DE IMPLEMENTAÇÃO

Ao se discutir o universo de implementação, serão indicadas quais as estruturas de dados a serem utilizadas para construir um sistema de Geoprocessamento. Neste momento, são tratadas as decisões concretas de programação e que podem admitir número muito grande de variações. Estas decisões podem levar em conta as aplicações às quais o sistema é voltado, a disponibilidade de algoritmos para tratamento de dados geográficos e o desempenho do hardware. Para uma discussão sobre os problemas de implementação de operações geográficas, veja-se Güting et al. (1994).

Um dos aspectos principais a ser levado em conta no universo de implementação é o uso de estruturas de indexação espacial. Os métodos de acesso a dados espaciais compõem-se de *estruturas de dados e algoritmos de pesquisa e recuperação* e representam um componente determinante no desempenho total do sistema. Apanhados gerais da literatura são feitos em Cox Junior (1991) e Rezende (1992).

Estes métodos operam sobre chaves multidimensionais e dividem-se conforme a representação dos dados associados: pontos (ex: *árvores K-D*), linhas e polígonos (ex: *árvores R e R+*) e imagens (ex: *árvores quaternárias*). Estes e outros métodos têm possibilitado (principalmente no caso de pontos e linhas) grandes melhorias de desempenho no acesso a dados geográficos.

## 2.7 RELAÇÃO ENTRE OS UNIVERSOS DO MODELO

O paradigma dos “quatro universos de modelagem” (Gomes e Velho, 1995) parte do princípio que o mapeamento entre cada universo não é reversível e admite alternativas. A seguir serão discutidas estas relações.

### 2.7.1 DO MUNDO REAL PARA O UNIVERSO CONCEITUAL

A passagem do mundo real para o universo conceitual pode admitir algumas variações, conforme o domínio de aplicação. Em alguns casos, o mapeamento é direto: as imagens de satélite e grandezas topográficas e geofísicas, por exemplo, são naturalmente mapeadas para instâncias de GEOCAMPO. No caso de mapas municipais e de divisão política, sua associação com as classes GEOOBJETO e MAPA DE GEOOBJETOS é também direta.

Os levantamentos temáticos podem se prestar a duas interpretações, conforme seu uso: quando se tratar de trabalhos de inventário (como o mapa de

vegetação da Amazônia), devem ser modelados como instâncias de GEOCAMPO (ou, mais especificamente, da classe TEMÁTICO). No caso de estudos detalhados em médias e grandes escalas (como no zoneamento ecológico-econômico), onde cada região é caracterizada por qualificadores específicos, é conveniente que estes levantamentos sejam associados a instâncias de GEOOBJETOS e de MAPA DE GEOOBJETOS.

### 2.7.2 DO UNIVERSO CONCEITUAL PARA A REPRESENTAÇÃO

Este mapeamento apresenta várias alternativas não-excludentes, a saber:

- instâncias da classe DADO\_SENSOR\_REMOTO são usualmente armazenadas na representação matricial.
- um geo-campo NUMÉRICO pode ser representados tanto como matrizes (grade regular) como vetores (conjunto de isolinhas, grade triangular e conjunto de pontos 3D);
- um geo-campo TEMÁTICO pode ser representado tanto como vetores topologicamente estruturados, como por uma matriz.
- Um MAPA CADASTRAL deve ser representados por vetores, como topologia arco-no-polígono.
- Uma REDE é representada por vetores, com topologia arco-nó.

A literatura tem consagrado a conclusão de que um SIG de propósito geral deve prover todas as alternativas de representação.

### 2.7.3 DAS REPRESENTAÇÕES À IMPLEMENTAÇÃO

Conforme foi descrito anteriormente, a realização do universo de implementação é decisão concreta de programação. A seguir serão realizadas algumas considerações de ordem prática:

- o armazenamento de pontos 3D em árvores K-D (Bentley, 1975) traz um ganho muito significativo para aplicações como a geração de grade regular a partir de um conjunto de amostras esparsas;
- o uso de árvores quaternárias (Samet, 1990) para armazenar imagens em tons de cinza não é eficaz. Para o caso de mapas temáticos, apesar de utilizado em pelo menos um sistema comercial (SPANS), os ganhos não são significativos;

- o uso de árvores-R (Gutman, 1984) ou árvores-V (Mediano et al., 1994) só se torna eficiente quando completado por algoritmos de busca e processamento que utilizam suas propriedades.

#### 2.7.4 RESUMO

Para compreender melhor a relação entre os diferentes universos (níveis) do modelo, a Tabela 2.4 contém vários exemplos de entidades do mundo real e suas correspondentes no modelo.

TABELA 2.4

#### CORRESPONDÊNCIA ENTRE UNIVERSOS DO MODELO

| <i>Universo do mundo real</i> | <i>Universo conceitual</i> | <i>Universo de representação</i>                                              | <i>Universo de implementação</i>                                    |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Mapa de vegetação             | Geo-campo Temático         | Imagem temática<br>Subdivisão Planar                                          | Matriz 2D<br>Linhas 2D (com R-Tree)                                 |
| Mapa altimétrico              | Geo-campo Numérico         | Grade regular<br>Grade triangular<br>Conjunto Pontos 3D<br>Conjunto Isolinhas | Matriz 2D<br>Linhas 2D e Nós 3D<br>Pontos 3D (KD-tree)<br>Linhas 2D |
| Lotes urbanos                 | Geo-objetos                |                                                                               |                                                                     |
| Mapa de lotes                 | Cadastral                  | Subdivisão Planar                                                             | Linhas 2D (com R-Tree)                                              |
| Rede elétrica                 | Rede                       | Grafo Orientado                                                               | Linhas 2D (com R-Tree)                                              |

## 2.8 DEFINIÇÃO DO ESQUEMA DO BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

O processo de se definir o esquema conceitual de um banco de dados geográficos consiste em estender a hierarquia de especialização definida pelo modelo, criando classes derivadas de GEOOBJETO, CADASTRAL, REDE, TEMÁTICO, MODELO NUMÉRICO DE TERRENO e DADO SENSOR REMOTO.

Como exemplo, considere-se a seguinte definição de esquema conceitual para um banco de dados geográficos para cadastro rural (ilustrada na Figura 2.21):

- uma classe FAZENDAS, especialização de GEOOBJETO, que pode ainda ser sub-especializada em LATIFÚNDIO e MINIFÚNDIO;
- uma classe MAPA DE PROPRIEDADES, especialização de CADASTRAL, que define um mapeamento para os objetos da classe FAZENDAS e suas especializações;
- uma classe MAPA DE SOLOS, especialização de TEMÁTICO, cujas instâncias armazenam o tipo de solos para as áreas de estudo;
- as classes ALTIMETRIA e DECLIVIDADE, especializações de MODELO NUMÉRICO DE TERRENO, cujas instâncias guardam (respectivamente) a topografia e a declividade da área de estudo;
- uma classe DADOS LANDSAT, especialização de DADO SENSOR REMOTO, cujas instâncias contêm as imagens do satélite LANDSAT sobre a região de estudo.

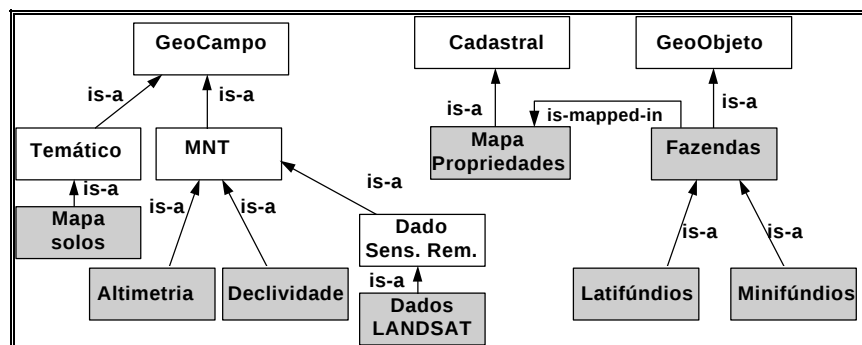


Figura 2.21 - Exemplo de definição de Esquema Conceitual.

## 2.9 ORGANIZAÇÃO DE AMBIENTE DE TRABALHO EM SIG

Num SIG, existem duas grandes formas de organização de um ambiente de trabalho:

- organização baseada num *banco de dados geográficos* (“à la dBASE”);
- organização baseada em *projetos* (“à la AutoCAD”).

No primeiro caso, o usuário define inicialmente o esquema conceitual associado às entidades do banco de dados geográficos, indicando para cada tipo de dados seus atributos não-espaciais e as representações geométricas associadas. Proceda-se da mesma forma que num banco de dados tradicional (como o dBASE ou o ACCESS), onde a definição da estrutura do banco precede a entrada dos dados. O SPRING e o MGE são exemplos de sistemas organizados como bancos de dados geográficos.

No segundo caso, o usuário define inicialmente um referencial geográfico (que delimita uma região de trabalho) e a seguir, define as entidades geográficas que compõem o projeto. O ARC/INFO, IDRISI e SGI são exemplos desta classe de sistemas.

Note-se que um banco de dados geográficos pode ser particionado em projetos, sendo que as definições do esquema conceitual valem para todos os projetos do banco, mesmo que não haja continuidade espacial entre estes projetos.

Um projeto é usualmente composto por um conjunto de *níveis*, *camadas* ou *planos de informação (PIs)*, que variam em número, tipos de formatos e de temas, conforme as necessidades de cada tarefa ou estudo. Por exemplo, caso se desejasse fazer um estudo de uso atual do solo e seus impactos sobre o ambiente em uma região, definida em um projeto, seria necessário que este projeto fosse composto de *PIs* com os seguintes temas: 1) rede de drenagem; 2) cidades, rodovias e ferrovias; 3) altimetria; 4) geomorfologia; 5) unidades e associações dos solos; 6) tipologia vegetal; 7) tipos de uso e ocupação das terras. Os *PIs* 1, 2 e 3, quando superpostos, vão formar a cartografia básica da região de estudo ou mapa planialtimétrico. Os *PIs* restantes são os mapas especiais ou temáticos, cada um deles representa a mesma área, porém contendo informações geográficas diferentes. Operações aritméticas e lógicas entre os *PIs* 3, 4, 5, 6 e 7 são necessárias para atingir o objetivo proposto.

Os *PIs* de um projeto podem pertencer a diferentes classes de dados relacionadas com os formatos de representação de dados disponíveis no SIG utilizado.

Esta organização da informação espacial é muito conveniente para permitir que diferentes variáveis sejam integradas ao banco de dados e que diferentes tipos de estudo possam ser realizados, combinando tão somente os fenômenos de interesse.

Deste modo, pode-se dizer que o Geoprocessamento, ao organizar computacionalmente os dados geográficos, modifica qualitativamente o tipo de análise possível.

## **2.10 RELAÇÃO COM SISTEMAS EXISTENTES**

O modelo proposto propõe-se a ser geral. Na prática é importante estabelecer o mapeamento entre o modelo e os conceitos utilizados nos SIG disponíveis no mercado.

### **2.10.1 SITIM/SIG**

O SIG contempla o conceito de plano de informação, mas não o de geo-objetos. Um plano de informação no SIG pode ser especializado em dados temáticos, numéricos e de sensor remoto. No SIG, um mapa cadastral é implementado como um mapa temático onde cada polígono está relacionado a um elemento de uma tabela no banco de dados no formato dBASE.

### **2.10.2 ARC/INFO**

A noção básica no ARC/INFO é de uma “coverage”. Uma “coverage” é uma estrutura vetorial 2D que modela as noções de mapa cadastral e de mapa temático (no formato vetorial) de forma semelhante ao SIG. Os atributos dos polígonos estão guardados numa tabela (“polygon attribute table” ou PAT).

Os geo-campos temáticos no formato matricial e os modelos numéricos de terreno são implementados como grades (“grids”), onde uma “grade de inteiros” corresponde a um mapa temático e uma “grade de pontos flutuantes”, a um MNT. As grades triangulares são implementadas no módulo TIN.

No ARC/INFO (como no SIG, ILWIS e IDRISI), os geo-objetos não têm existência independente da “coverage”, estando ligados à ela. Assim, verifica-se

que estes sistemas não modelam o universo conceitual do Geoprocessamento, e o usuário deve lidar diretamente com as representações.

### 2.10.3 SPRING

O modelo de dados utilizado pelo SPRING está baseado nos conceitos de geo-campos e geo-objetos, conforme discutido neste capítulo. A Figura 2.15 mostra a interface homem-máquina do sistema.

Comparativamente aos sistemas citados anteriormente, na prática, o usuário não se preocupa com as representações e implementações, trabalhando com conceitos mais próximos de sua realidade. Inicialmente define-se num banco de dados as entidades da realidade a serem modeladas. Por exemplo, o Mapa de Vegetação do Brasil (*mundo real*) pode ser definido um geo-campo temático MAPA\_VEGETAÇÃO (*universo conceitual*) que conterá todas as geo\_classes que representam a vegetação brasileira, segundo por exemplo, o Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira, adotado pelo IBGE. O usuário numa primeira instância não estará preocupado em saber em que formato (escala, projeção) estão os mapas e nem em suas representações geométricas.

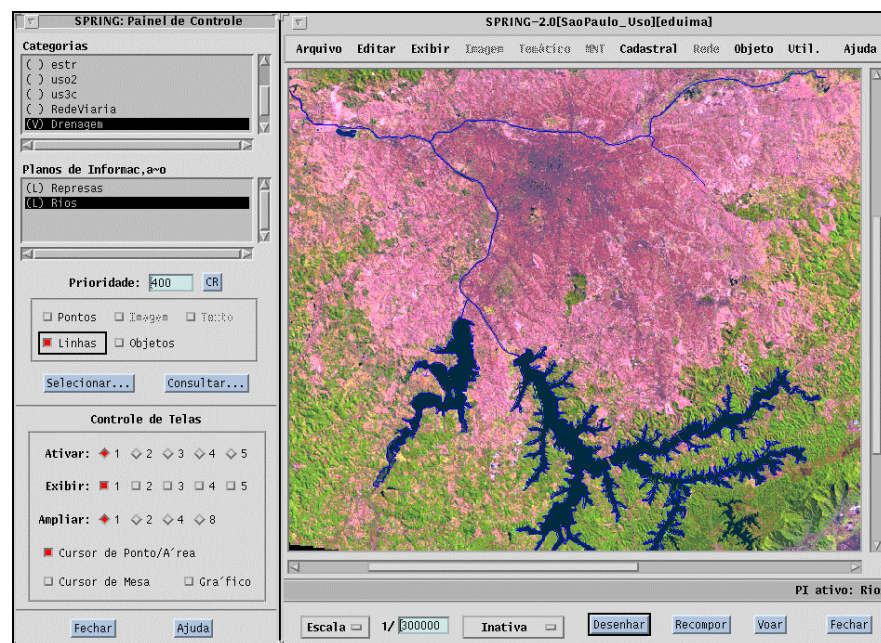


Figura 2.15 - Interface Homem-Máquina do SPRING.