

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS DE

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

“É preciso saber pensar o espaço para saber nele se organizar, para saber ali combater”.

Yves Lacoste

2.1 DESCRIÇÃO GERAL

O termo *sistemas de informação geográfica* (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Devido a sua ampla gama de aplicações, que inclui temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia), há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG:

- como ferramenta para produção de mapas;
- como suporte para análise espacial de fenômenos;
- como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Estas três visões do SIG são antes convergentes que conflitantes e refletem a importância relativa do tratamento da informação geográfica dentro de uma instituição. Para esclarecer ainda mais o assunto, apresentamos a seguir algumas definições de SIG:

“Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georeferenciados” (Aronoff, 1989).

“Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (Burrough, 1986).

“Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (Cowen, 1988).

“Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais” (Smith et al., 1987)

Estas definições de SIG refletem, cada uma à sua maneira, a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. A partir destes conceitos, é possível indicar as principais características de SIGs:

- Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise e para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

2.2 CONCEITOS DE ESPAÇO E RELAÇÕES ESPACIAIS

O que há de especial com dados espaciais ? A partir desta pergunta, podemos procurar desvendar as particularidades dos dados geográficos.

O aspecto mais fundamental dos dados tratados em um SIG é a natureza dual da informação: um dado geográfico possui uma *localização geográfica* (expressa como coordenadas em um mapa) e *atributos descritivos* (que podem ser representados num banco de dados convencional). Outro aspecto muito importante é que os dados geográficos não existem sozinhos no espaço: tão importante quanto localizá-los é descobrir e representar as relações entre os diversos dados. Alguns exemplos dos processos de análise espacial típicos de um SIG estão apresentados na tabela abaixo (adaptada de Maguire, 1991).

TABELA 2.1
EXEMPLOS DE ANÁLISE ESPACIAL

Análise	Pergunta Geral	Exemplo
Condição	“O que está...?”	“Qual a população desta cidade ?”
Localização	“Onde está...?”	“Quais as áreas com declividade acima de 20% ? “
Tendência	“O que mudou...?”	“Esta terra era produtiva há 5 anos atrás ? “
Roteamento	“Por onde ir.. ?”	“Qual o melhor caminho para o metrô ?”
Padrões	“Qual o padrão....?”	“Qual a distribuição da dengue em Fortaleza?”
Modelos	“O que acontece se...?”	“Qual o impacto no clima se desmatarmos a Amazônia ?”

Tomemos um exemplo concreto para explicitar os conceitos acima sobre análise espacial (neste caso realizada manualmente). Em 1854, Londres estava sofrendo uma grave epidemia de cólera, doença sobre a qual na época não se conhecia a forma de contaminação. Numa situação aonde já haviam ocorrido mais de 500 mortes, o doutor John Snow teve um “estalo”: colocar no mapa da cidade a localização dos doentes de cólera e dos poços de água (naquele tempo, a fonte principal de água dos habitantes da cidade). O mapa obtido está mostrado na figura 2.1.

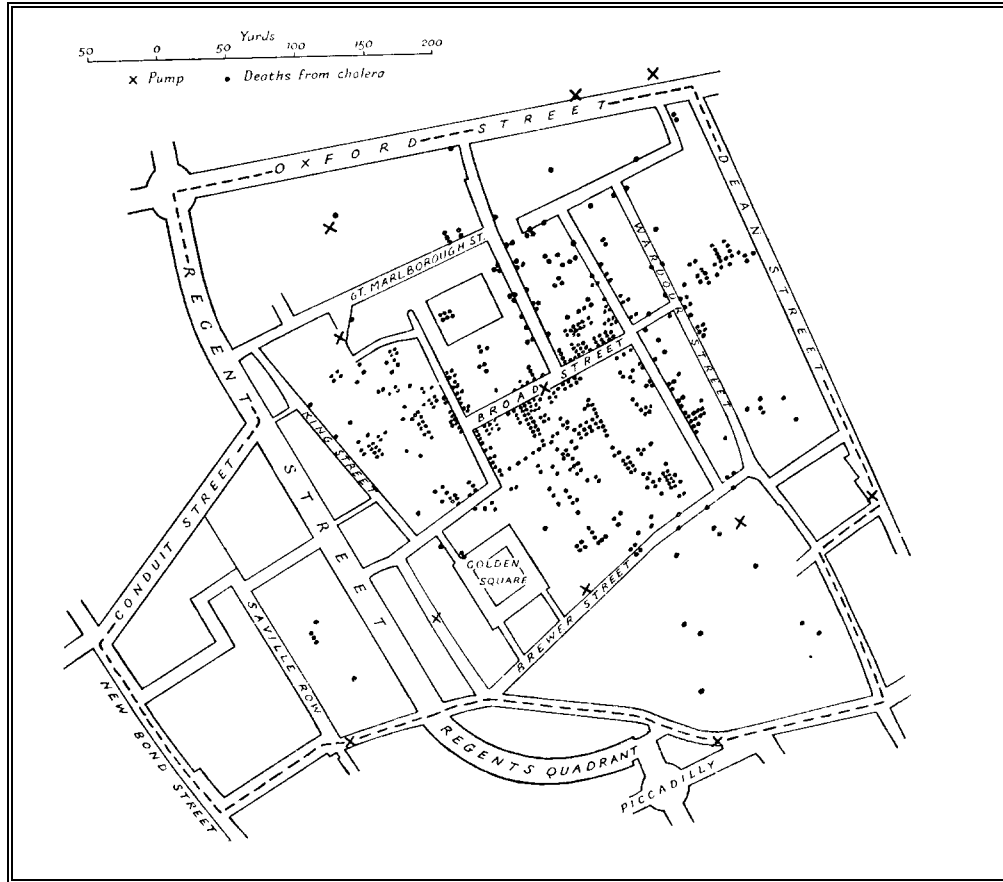


Figura 2.1 - Mapa de Londres com casos de cólera (pontos) e poços de água (cruzes) (adaptado de E. Tufte, 1983).

Com a espacialização dos dados, o doutor Snow percebeu que a maioria dos casos estava concentrada em torno do poço da “Broad Street” e ordenou a sua lacração, o que contribuiu em muito para debelar a epidemia. Este caso forneceu evidência empírica para a hipótese (depois comprovada) de que o cólera é transmitido por ingestão de água contaminada. Este é uma situação típica aonde a relação espacial entre os dados muito dificilmente seria inferida pela simples listagem dos casos de cólera e dos poços.

O mapa do doutor Snow passou para a História como um dos primeiros exemplos que ilustra bem o poder explicativo da análise espacial.

2.3 ESTRUTURA GERAL DE UM SIG

Numa visão abrangente, pode-se indicar que um SIG tem os seguintes componentes :

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

Estes componentes se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a *interface homem-máquina* define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (*entrada, edição, análise, visualização e saída*). No nível mais interno do sistema, um *sistema de gerência de bancos de dados geográficos* oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

De uma forma geral, as funções de processamento de um SIG operam sobre dados em uma *área de trabalho* em memória principal. A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento do SIG é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados. Exemplos ilustrativos de modos de seleção de dados são:

- "Recupere os dados relativos à carta de Guajará-Mirim " (*restrição por definição de região de interesse*);
- "Recupere as cidades do Estado de São Paulo com população entre 100.000 e 500.000 habitantes" (*consulta por atributos não-espaciais*).
- "Mostre os postos de saúde num raio de 5 km do hospital municipal de S.J.Campos" (*consulta com restrições espaciais*).

A figura 2.2 indica o relacionamento dos principais componentes. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados estão presentes num SIG.

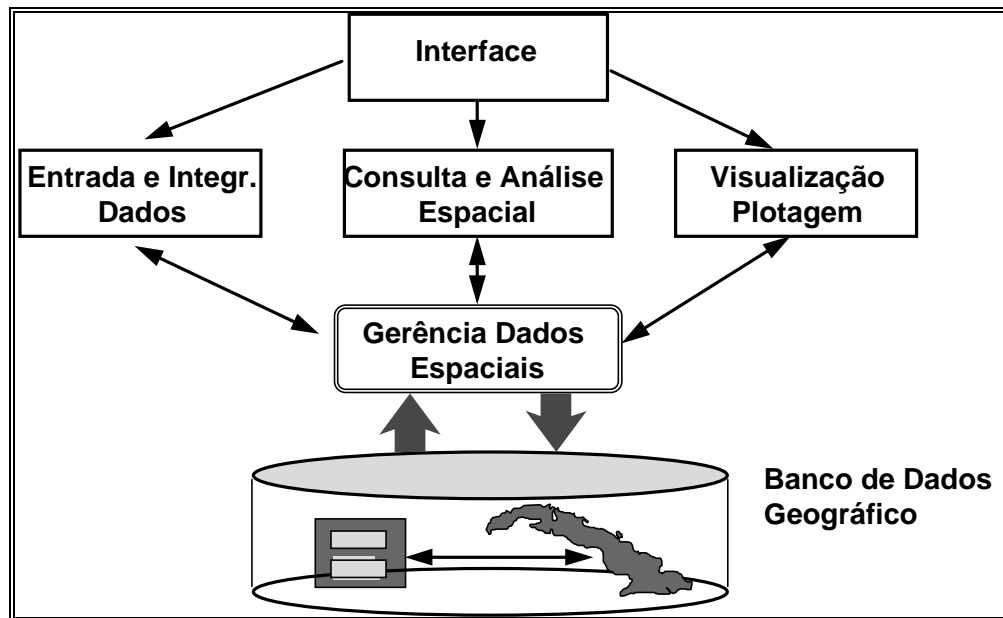


Figura 2.2 - Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.

2.4 TIPOS DE DADOS EM GEOPROCESSAMENTO

Um sistema de Geoprocessamento armazena a geometria e os atributos dos dados, que estão *georeferenciados*, isto é, localizados na superfície terrestre numa projeção cartográfica. Os dados tratados em geoprocessamento tem como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados.

À diferença de sistemas de Projeto Auxiliado por Computador (CAD), uma característica básica e geral num SIG é sua capacidade de tratar as relações espaciais entre os objetos geográficos. Denota-se por *topologia* a estrutura de relacionamentos espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) que podem se estabelecer entre objetos geográficos.

O requisito de armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos representa uma *dualidade* básica para SIGs. Para cada objeto geográfico, o SIG necessita armazenar seus atributos e as várias representações gráficas associadas.

2.4.1 MAPAS TEMÁTICOS

Mapas temáticos contêm regiões geográficas definidas por um ou mais polígonos. Exemplos são o uso do solo 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.

Para permitir uma representação e análise mais acurada do espaço geográfico, a maior parte dos sistemas armazena estes tipos de mapas na forma de *arcos* (limites entre regiões), incluindo os *nós* (pontos de intersecções entre arcos) para montar uma *representação topológica*. A topologia construída é do tipo *arco-nó-região*: arcos se conectam entre si através de nós (pontos inicial e final) e arcos que circundam uma área definem um polígono (região).

Um mapa temático também pode ser armazenado no formato matricial ("raster"). Neste caso, a área correspondente ao mapa é dividida em células de tamanho fixo. Cada célula terá um valor correspondente ao tema mais frequente naquela localização espacial.

A escolha entre a representação matricial e a vetorial para um mapa temático depende do objetivo em vista. 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 2.3.

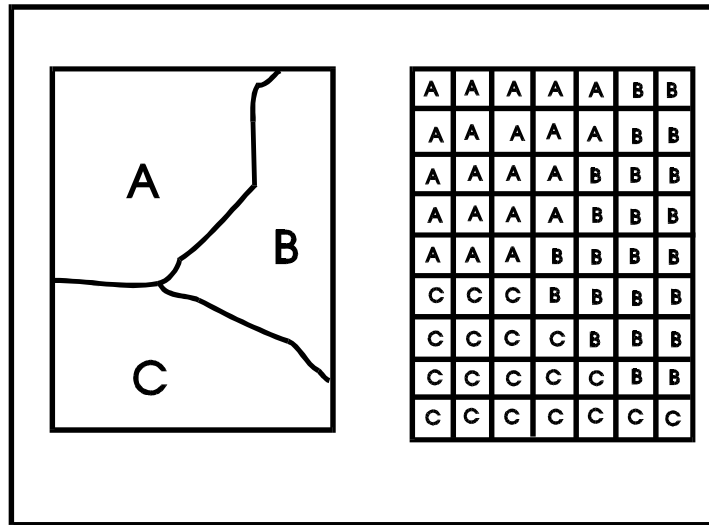


Figura 2.3 - Representação vetorial e matricial de um mapa temático.

A tabela 2.2 abaixo 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 FORMATOS PARA MAPAS TEMÁTICOS

Aspecto	Formato Vetorial	Formato Varredura
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 Álgebra de mapas é limitada	Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço Simulação e modelagem mais fáceis
Escalas 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

2.4.2 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.

A parte gráfica dos mapas cadastrais é armazenada em forma de coordenadas vetoriais, com a topologia associada. Não é usual representar estes dados na forma matricial.

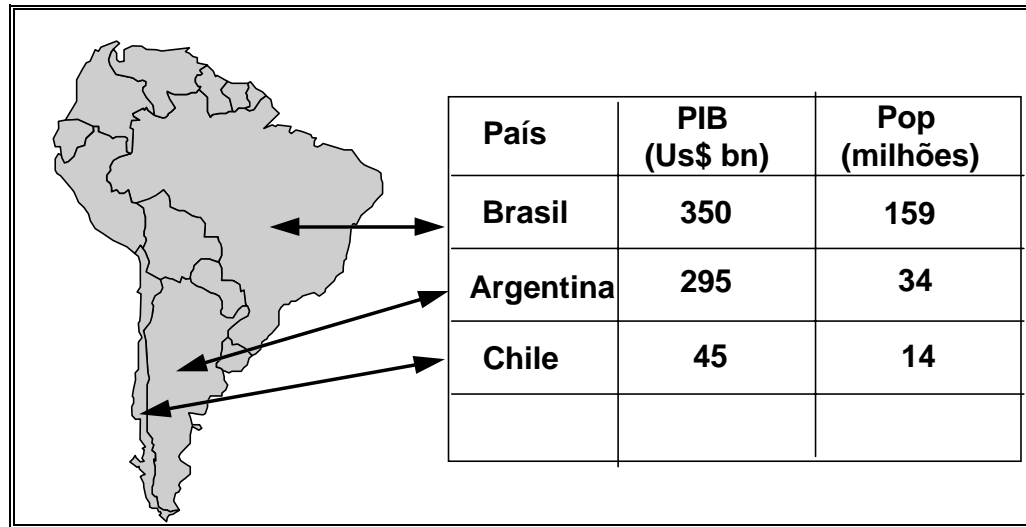


Figura 2.4 - Exemplo de mapa cadastral (países da América do Sul).

2.4.3 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 2.5.

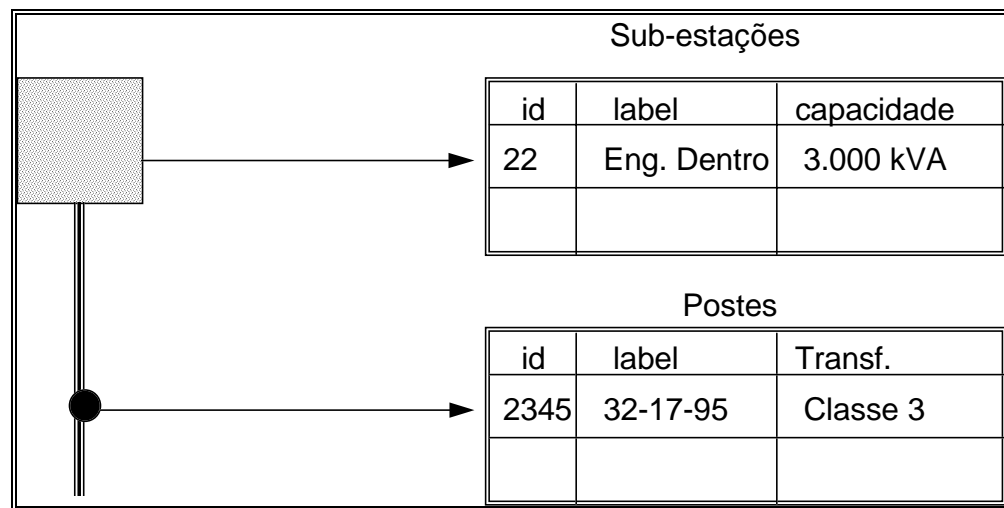


Figura 2.5 - Elementos de Rede.

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).

No caso de aplicações em redes, a ligação com *banco de dados* é fundamental. Como os dados espaciais tem formatos relativamente simples, a maior parte do trabalho consiste em realizar consultas ao banco de dados e apresentar os resultados de forma adequada. A área de redes é ainda um grande motivador para inovações em SIG, merecendo destaque:

- integração de dados
- segmentação dinâmica
- linguagem de visualização
- capacidade de adaptação

A *integração de dados* é necessária para aplicações como redes, onde deseja-se gerar uma base cartográfica contínua a partir de informações dispersas em vários mapas. Usualmente, as redes (elétrica, de telefonia e de água e esgoto) estão interligadas em toda a malha urbana. Poucos sistemas conseguem armazená-las de forma contínua, dando origem a particionamentos que não refletem a realidade e que dificultam a realização de análises e simulações.

Outro aspecto necessário para aplicações de redes é a capacidade de definir diferentes cortes lógicos de uma rede sem ter de duplicar (ou repetir) a estrutura topológica da rede. Por exemplo, ao se asfaltar parte de uma estrada de terra, será preciso atualizar esta informação, sem ter de redigitalizar todas as coordenadas de localização da estrada. Esta capacidade, usualmente denotada por *segmentação dinâmica*, permite separar os diferentes níveis de informação relativos a uma mesma rede.

Como as características dos elementos da rede são armazenadas como atributos em bancos de dados, é necessário dispor de meios para visualizar esta informação. Para tanto, os SIGs devem dispor de *linguagem de apresentação*, que permita controlar a simbologia associada aos componentes da rede, que varia conforme a escala de plotagem.

O pacote mínimo disponível nos sistemas comerciais consiste tipicamente de cálculo de caminho ótimo e crítico. Este pacote básico é insuficiente para a realização da maioria das aplicações, pois cada usuário tem necessidades completamente distintas. No caso de um sistema telefônico, uma questão pode ser: "quais são todos os telefones servidos por uma dada caixa terminal?". Já para uma rede de água, pode-se perguntar: "Se injetarmos uma dada percentagem de cloro na caixa d'água de um bairro, qual a concentração final nas casas?"

Deste modo, um sistema de modelagem de redes só terá utilidade para o cliente depois de devidamente adaptado para as suas necessidades, o que pode levar vários anos. Isto impõe uma característica básica para esta aplicação: *os sistemas devem ser versáteis e maleáveis.*

2.4.4 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 **reflectância** do **solo** para a área imageada.

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

Características importantes de imagens de satélite são: o número de bandas do espectro eletromagnético imageadas (*resolução espectral*), a área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (*resolução espacial*) e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (*resolução temporal*). A tabela 2.3 apresenta as características gerais dos principais satélites (com seus sensores) disponíveis no Brasil.

TABELA 2.3

CARACTERÍSTICAS DE SATÉLITES RECEBIDOS NO BRASIL

<i>Satélite (família)</i>	<i>Instrumento</i>	<i>Num. bandas</i>	<i>Resolução espacial</i>	<i>Resolução temporal</i>
LANDSAT	MSS	4	80 m	18 dias
	TM	7 ⁽¹⁾	30 m	18 dias
SPOT	XS	3	20 m	27 dias ⁽²⁾
	PAN	1	10 m	27 dias
TIROS/NOAA	AVHRR	5	1100 m	6 horas
METEOSAT	MSS	4	8000 m	30 minutos
ERS ⁽³⁾	SAR banda-C	1	25 m	25 dias

Observações:

1. O sensor TM possui uma banda no infravermelho termal, que tem resolução de 120 metros.
2. O satélite SPOT tem espelho móvel, com visada lateral, o que permite uma capacidade de reduzir o período entre duas tomadas sucessivas de um mesmo ponto da Terra.
3. O satélite ERS-1 é o primeiro a possuir um radar. No entanto, trata-se de satélite experimental, com cobertura limitada.

2.4.5 MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO

O termo *modelo numérico de terreno* (ou MNT) é utilizado para denotar a representação uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas, como teor de minerais ou propriedades do solo ou subsolo (como aeromagnetismo).

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).

O processo de aquisição de uma grandeza com variação espacial produz usualmente um conjunto de amostras pontuais. A partir destas amostras, pode-se construir dois tipos de representação:

- (a) *grades regulares*: matriz de elementos com espaçamento fixo, onde é associado o valor estimado da grandeza na posição geográfica de cada ponto da grade. As grades regulares são obtidas por interpolação das amostras ou, alternativamente, geradas por restituidores com saída digital.
- (b) *malhas triangulares*: a grade é formada por conexão entre amostras, utilizando a triangulação de Delaunay (sujeita a restrições). A grade triangular é uma estrutura topológica vetorial do tipo arco-nó, que forma um conjunto de recortes irregulares no espaço.

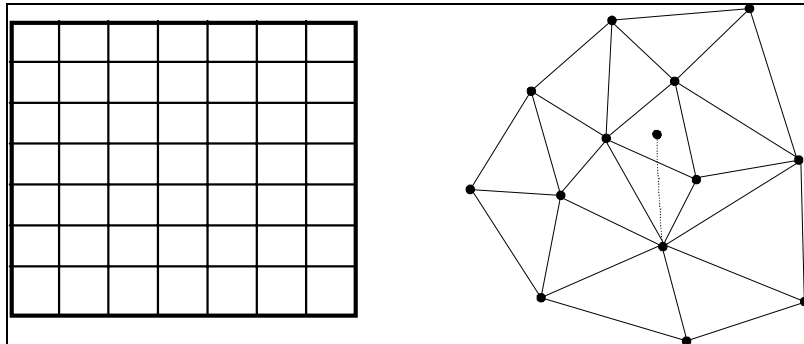


Figura 2.6 - Grades regulares e triangulares.

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, procedimentos de filtragem bidimensional ou de geoestatística (como a *krigeagem*) são utilizados.

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 tem 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 2.4 resume as principais vantagens e desvantagens de grades regulares e triangulares.

TABELA 2.4

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

	Grade triangular	Grade regular
Vantagens	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melhor representação de relevo complexo 2. Incorporação de restrições como linhas de crista 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Facilita manuseio e conversão 2. Adequada para geofísica e visualização 3D
Problemas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Complexidade de manuseio 2. Inadequada para visualização 3D 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Representação relevo complexo 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 CLASSES DE PROJETOS EM GEOPROCESSAMENTO

A base de dados espacial é o componente de maior custo em um sistema de Geoprocessamento. A abrangência dos trabalhos realizados permite distinguir entre dois tipos de ambientes:

- *projetos de análise espacial* sobre regiões de pequeno e médio porte;
- *inventários espaciais* sobre grandes regiões.

Como exemplo do primeiro caso, pode-se tomar o caso de RIMAs (Relatórios de Impacto Ambiental), como no caso de criação de uma hidroelétrica ou de uma ferrovia, por exemplo. No segundo caso, situam-se levantamentos sistemáticos, como os feitos pelo INPE para mapear o desflorestamento na Amazônia.

2.5.1 PROJETOS DE ANÁLISE ESPACIAL

Projetos de análise espacial usualmente requerem grande flexibilidade e abrangência das funções do SIG, para quantidade limitada de dados, mas para grande variedade destes. Para ilustrar, tome-se exemplos de aplicações realizadas com o SGI/INPE:

- PETROBRAS/CENPES (estudo da bacia do Recôncavo): 50 "planos de informação" para uma área de cerca de 5.000 km², com diferentes tipos de dados (geofísica, magnetometria, mapa geológico, fotos aéreas), e grande quantidade de dados derivados (conversão de DTM para imagens, transformações IHS->RGB, entre outros).
- EMBRAPA/NMA (zoneamento da ilha de Fernando de Noronha): 80 "planos de informação" para uma área de 3.000 km², com mapas de declividade, uso do solo, geomorfologia, direção dos ventos, localização de espécies, locais acessíveis para turismo, entre outros.

Considera-se que a tecnologia atual de BDG já é capaz de dar suporte a este tipo de aplicações.

2.5.2 PROJETOS DE INVENTÁRIO ESPACIAL

No caso de *inventário*, a ênfase maior é no tratamento de grandes bases de dados, sendo que os mesmos procedimentos são repetidos para todos os dados. As regiões abrangidas são muito grandes, como pode ser visto nos exemplos:

- INPE (Atlas de desmatamento da Amazônia): 228 "projetos", para uma área total de quase 5 milhões de km². Cada projeto possui 5 "planos de informação" (fisionomia florestal, hidrografia, rede viária, base municipal e desflorestamento).
- SOS Mata Atlântica (mapeamento dos remanescentes): 200 projetos, para uma área total de 3 milhões de km². Cada projeto possui 5 "planos de informação".

Nos casos de inventário, o trabalho se resume, em muitos casos, às fases de interpretação dos dados, integração à base de dados espacial e plotagem de resultados.

2.6 REFERÊNCIAS GERAIS SOBRE GEOPROCESSAMENTO

Para uma discussão mais aprofundada sobre Geoprocessamento, o leitor deve procurar Burrough (1986), Star e Estes (1990), ou a coletânea editada por Maguire, Goodchild e Rhind (1991). Em Português, merecem ser citados os trabalhos de Assad e Sano (1993) e Paredes (1995).