

## INTRODUÇÃO

Este capítulo aborda o uso de *softwares* livres em sala de aula, apresentando de maneira resumida o conceito de Sistema de Informação Geográfica (SIG), a sua arquitetura, a forma como os dados são introduzidos e armazenados e como esses dados podem ser analisados espacialmente no sistema. O SIG destacado neste capítulo é chamado ILWIS, um acrônimo de *Integrated Land and Water Information System*. O ILWIS é um SIG gratuito desenvolvido pela *Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente* (ITC), da Holanda, que conta com uma ampla gama de recursos para a entrada de dados, edição, modelagem, processamento de imagens de sensoriamento remoto e análise espacial. O ILWIS pode ser facilmente baixado pela internet e instalado em computador pessoal.



## O QUE É SIG E PARA QUE SERVE?

Os sistemas de informações geográficas, ou simplesmente SIG, constituem-se numa das principais técnicas utilizadas pelos geógrafos para apoiar decisões que envolvem a análise integrada do espaço geográfico. Existem atualmente diversas definições de SIG, variando de acordo com as suas aplicações e com os propósitos pretendidos.

Maguire (1991) cita e analisa, por exemplo, 11 definições de SIG. De acordo com esse autor, as razões para tantas definições acerca da natureza e dos objetivos dos SIG devem-se à heterogeneidade do grupo de indivíduos e organizações que os utilizam e à crescente variedade de suas aplicações.

Uma definição bastante simples é a de Burrough (1986), que define o SIG como um poderoso conjunto de técnicas para colecionar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais do mundo real. O SIG possibilita também a integração numa única base de dados de informações geográficas provenientes de diferentes fontes de dados (imagens de satélite, dados cadastrais, mapas etc.).

Da mesma forma que o microscópio é importante para o biólogo, o SIG é um instrumento de fundamental importância para o geógrafo, possibilitando ampliar o horizonte da análise geográfica para além do olho humano. Graças ao desenvolvimento de técnicas computacionais, é possível nos dias de hoje trabalhar com um grande volume de dados (mapas, imagens, tabelas etc.) de maneira plenamente integrada dentro de um SIG. Questão esta difícil de ser atingida em ambiente analógico.

Mapas antes desenhados à mão passaram, nesta “nova era”, a ser construídos e analisados em meio digital. Essa nova forma de trabalhar deu novos rumos à Geografia e abriu inúmeras possibilidades de aplicações. Muito mais que um sistema que permite a produção de mapas, os SIG são sistemas que se preocupam com a

descrição, explicação e previsão dos padrões e processos nas escalas geográficas (LONGLEY et al., 2007).

A análise espacial é considerada por muitos autores como o núcleo do SIG (LONGLEY et al., 2007). De acordo com o autor, o objetivo da análise espacial é apoiar decisões e revelar padrões e anomalias espaciais que muitas vezes não são imediatamente óbvios. Após a aplicação de uma técnica de apoio à análise espacial adequada, estes padrões são realçados de maneira a evidenciar a clara influência do espaço geográfico na sua distribuição.

Talvez o primeiro trabalho de análise espacial seja o realizado pelo Dr. John Snow, em 1854, que relacionou os casos de cólera em Londres com a distribuição espacial dos poços de água. Naquela época, não se sabia qual era o motivo dos óbitos pela doença. Através de um mapa que localizava as residências dos óbitos e os poços de água que atendiam a cidade, Snow verificou que a maioria dos óbitos ocorria nas proximidades do poço da *Broad Street*.

Atualmente, o SIG apresenta uma ampla variedade de recursos para a análise espacial, seja para revelar padrões por meio de eventos pontuais, areais ou por superfícies contínuas.

## ARQUITETURA GERAL DE UM SIG

Numa visão abrangente, Câmara et al. (1996) consideram que um SIG tem os seguintes componentes: interface com o usuário; entrada e integração de dados; funções de processamento; visualização e plotagem; armazenamento e recuperação de dados.

O módulo de interface mais empregado atualmente é baseado em *menus*, apesar de



existirem vários programas que ainda trabalham com a interface por meio de linhas de comando. A interface baseada em *menus* é mais utilizada devido à sua maior facilidade de operação.

A entrada de dados no SIG é feita de diversas formas e com diferentes formatos. Alguns exemplos específicos utilizados na Cartografia são: digitalização de mapas analógicos utilizando o recurso de mesa digitalizadora; digitalização ótica com o uso de *scanner*; vetorização de mapas utilizando programas específicos; importação de arquivos de diferentes formatos.

A digitalização de mapas analógicos utilizando mesas digitalizadoras (mesas que possuem sensores eletrônicos instalados no seu interior) ainda é um procedimento utilizado como entrada de dados de mapas existentes. Primeiro, a carta topográfica, ou mapa temático, é fixada na mesa digitalizadora. Em seguida, pontos de controles são selecionados para calibrar a mesa digitalizadora, dimensionando o tamanho da área útil da mesa com o retângulo envolvente do mapa. A digitalização é feita com o uso do *mouse* da mesa. É um procedimento geralmente custoso e demorado, pois requer a digitalização de linhas, ajuste dos nós, geração de topologia e rotulação (identificação) de cada dado geográfico (CÂMARA et al., 1996).

Os produtos cartográficos, como fotografias aéreas e cartas topográficas, também podem ser digitalizados por meio de um *scanner* – um equipamento ótico-eletrônico de varredura que captura textos, gráficos e imagens e transformos em sinais digitais, que são codificados pelo computador, formando imagens matriciais.

Após a conversão para ambiente digital, as informações presentes numa carta topográfica escanerizada (estradas, drenagem, curvas de nível e ponto cotado, por exemplo) ou de uma fotografia aérea (diferentes tipos de uso e cobertura vegetal, por exemplo) podem ser convertidas para o formato vetorial diretamente na tela do computador (procedimento denomina-

do de vetorização) com auxílio de programas desenvolvidos especificamente para executar esta tarefa (como o *software* R2V) ou usando módulos de vetorização implementados no SIG, como no caso do ILWIS.

As entidades gráficas de um mapa e seus atributos numéricos ou textuais podem ser importadas para um SIG desde que estejam num formato compatível com a sua leitura. Para os arquivos de linhas, pontos e polígonos, os dois formatos mais comuns são o *DXF* (*Drawing eXchange Format*) e o *Shapefile*. O *DXF* é o formato de exportação dos arquivos do programa AutoCad, da empresa Autodesk. Já o *Shapefile* é um formato desenvolvido pela ESRI (<<http://www.esri.com/index.html>>) para trabalhar com SIG propriamente dito. O *Shapefile* é composto por três arquivos: um com a extensão *.shp* (*shapefile shape format*), que contém os dados das referências geográficas primárias; a extensão *.dbf* (*shapefile attribute format*), que armazena os atributos de cada entidade gráfica; e por um arquivo *.shx* (*shapefile index format*), responsável pela ligação da entidade gráfica com os atributos.

No caso das imagens matriciais georreferenciadas, o principal formato é o GeoTIFF, um padrão de metadados de domínio público o qual permite embutir informações das coordenadas geográficas em um arquivo TIFF. As informações adicionais incluem projeções cartográficas, sistema de coordenadas, elipsoides e *datums*.

O *Geospatial Data Abstraction Library* – GDAL (<<http://www.gdal.org>>) é uma biblioteca para tradução de formatos de dados geoespaciais, que inclui tanto dados *raster* quanto vetoriais, distribuída pela *Open Source Geospatial Foundation*. Existem, atualmente, vários programas que contam com o recurso GDAL, inclusive o ILWIS.

Os avanços nas áreas de Sensoriamento Remoto (ver Capítulo 9 – Técnicas de Sensoriamento Remoto), com o lançamento de novos sistemas sensores e técnicas modernas de



processamento de imagens, têm ampliado as aplicações dos SIG para classificar imagens de alta resolução utilizando abordagem cognitiva (BLASCHKE; KUX, 2005). Muito mais que se constituírem em simples dados de entrada para o SIG, o sensoriamento remoto e os dados adquiridos pelo sistema de posicionamento global GPS (ver Capítulo 10 – Técnicas de Localização e Georreferenciamento) possuem um grande potencial no IGIS. O IGIS, do inglês, *Integrated GIS*, é o que Davis e Simonett (1991) denominam de “união entre esses diferentes sistemas numa mesma base de dados”.

As funções de processamento compreendem uma ampla gama de recursos que abrange desde operações bastante simples de consulta a banco de dados até operações complexas que fazem uso de modelos matemáticos avançados de simulação. As funções de processamento presentes no SIG variam de um programa para outro, dependendo de sua aptidão. Técnicas de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto – como correção geométrica, realce e classificação, além de Modelagem Digital do Terreno (MDT), álgebra de mapas, análises de fluxos e eventos pontuais e de polígonos – são alguns exemplos de técnicas incluídas nesta modalidade.

A visualização e a plotagem (acabamento dos mapas e impressão) são destinadas à visualização dos resultados em tela e elaboração do *layout*, que nos mapas precisam conter a informação de toponímia, escala, legenda, coordenadas e diversas outras informações que fazem parte da linguagem cartográfica.

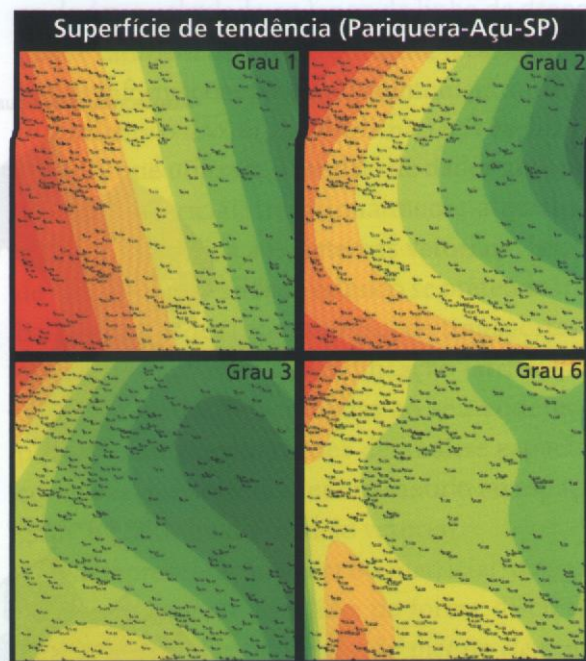
Todos os módulos citados relacionam-se de forma hierárquica e os dados são armazenados no banco de dados geográficos. De acordo com Câmara et al. (1996), tradicionalmente, o SIG armazenava os dados geográficos em arquivos internos. Esse tipo de solução vem sendo substituído pelo uso cada vez maior de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados conhecido como SGBD.

## CONVERTENDO OS DADOS DO MUNDO REAL PARA O SIG

### Os conceitos de modelos baseados em campo e objeto

Segundo Worboys (1995), num Sistema de Informação Geográfica o espaço é modelado segundo duas visões: os modelos baseados em campos e objetos.

O modelo de campo (também conhecido como geocampo) é um modelo matemático que representa uma superfície contínua de fenômenos geográficos. Um exemplo de geocampo são os modelos digitais do terreno (MDT ou DTM, de *Digital Terrain Model*). Na maioria das vezes o seu conceito está relacionado à forma de representação denominada pela cartografia temática de método isarítmico (Figura 11.1).



Arquivo dos autores

Figura 11.1. Mapas mostrando diferentes superfícies contínuas (geocampos) geradas a partir de pontos cotados que foram digitalizados da carta topográfica (1:50.000) da região de Pariquera-Açu, litoral sul do estado de São Paulo. O tipo de MDT empregado é conhecido como análise de superfície de tendência, que ajusta diferentes graus de polinômio aos dados analisados. Organização dos autores.



O modelo de objeto (ou geo-objeto) consiste numa representação do espaço de informação dentro de objetos ou entidades individualizadas. A característica que o distingue do geocampo é a forma de representação do espaço como um elemento único. Esses elementos possuem atributos não espaciais e estão associados a múltiplas localizações geográficas (CÂMARA; MONTEIRO, 2004). Em analogia à cartografia temática, trata-se da forma de representação coroplética, como é possível verificar na Figura 11.2. Nessa figura, as informações presentes em cada setor censitário são discretas (geo-objeto) e o seu comportamento espacial não depende necessariamente da vizinhança.

De acordo com Burrough e McDonnell (1998), a escolha do modelo conceitual é importante porque o modelo determina como os dados podem ser trabalhados com os diferentes algoritmos definíveis nos SIG.

## As entidades gráficas adotadas nos modelos

As duas abordagens fundamentais na representação do componente espacial são o modelo vetorial e o modelo *raster* (também conhecido como modelo matricial). Estas duas formas de representação serão rapidamente discutidas a seguir, descrevendo apenas as suas características principais.

De acordo com Burrough e McDonnell (1998), o modelo de dado vetorial representa o espaço como uma série de entidades discretas definidas por unidades de pontos, linhas e polígonos (áreas) geograficamente referenciadas por coordenadas cartesianas. A Figura 11.3 ilustra um exemplo com pontos, linhas e polígono no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM).

Um ponto constitui um par ordenado de coordenadas (x, y) no mapa. As linhas, arcos

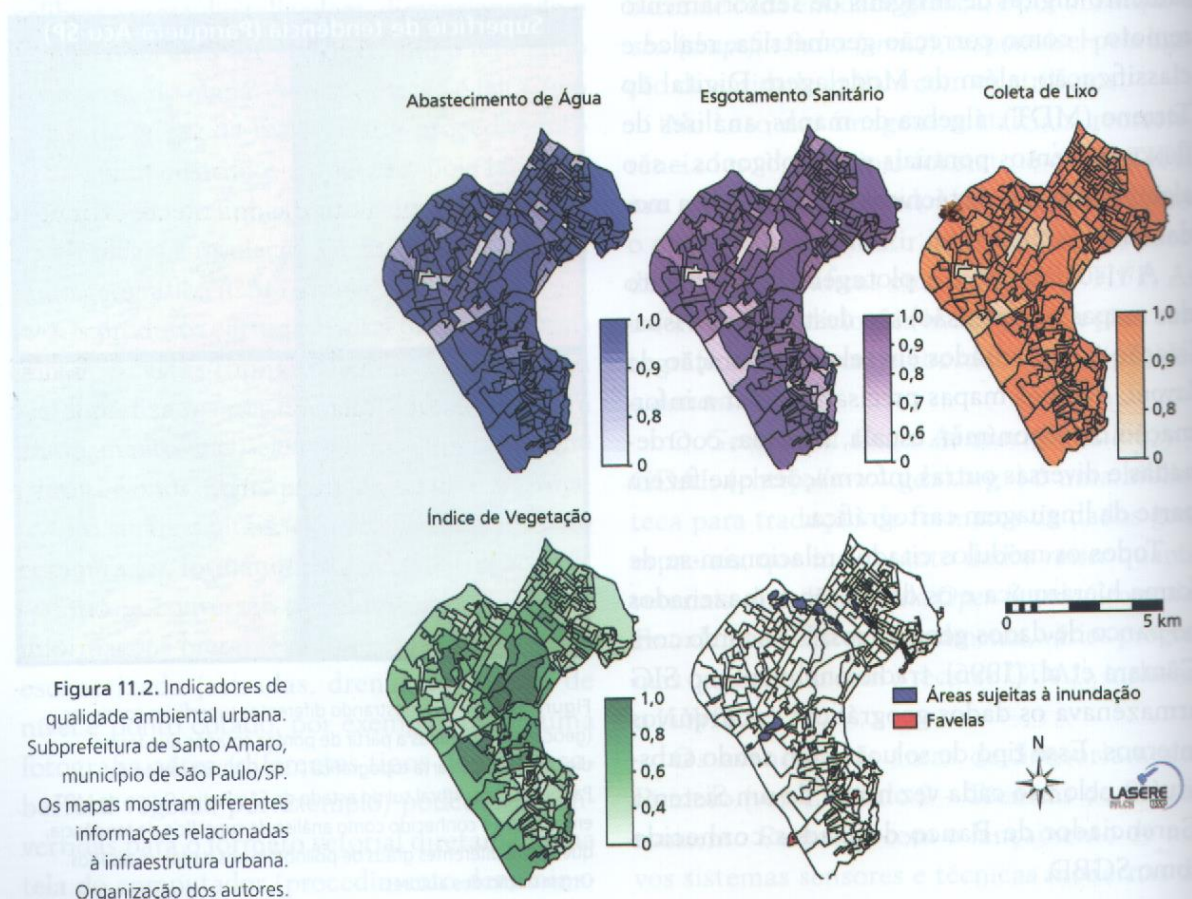


Figura 11.2. Indicadores de qualidade ambiental urbana. Subprefeitura de Santo Amaro, município de São Paulo/SP. Os mapas mostram diferentes informações relacionadas à infraestrutura urbana. Organização dos autores.



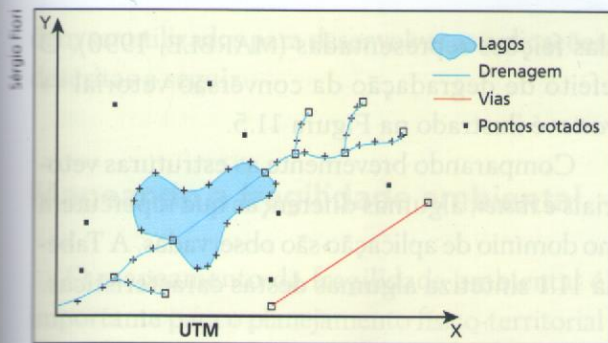


Figura 11.3. Representação vetorial: pontos, linhas e polígono. Organização dos autores.

ou elementos lineares são conjuntos de pontos conectados por vetor. Um polígono é a região do plano limitada por uma ou mais linhas poligonais conectadas de tal forma que o último ponto de uma linha termina exatamente no seu primeiro ponto.

Conforme pode ser observado na Figura 11.3, no início e término de cada linha, existe um nó (representado por um pequeno quadrado). Todas as drenagens estão conectadas por um nó formando o conjunto o sistema de drenagem. A correta conexão das linhas é importante no SIG para se poder trabalhar com projetos de direção e velocidade dos fluxos de drenagem.

Num SIG, as entidades gráficas vetoriais e os atributos nele associados podem ser armazenados num sistema hierárquico denominado de topológico. A topologia descreve as relações matemático-espaciais existentes entre os objetos e tem sido bastante estudada para o desenvolvimento de operadores de análises espaciais (EGENHOFER; FRANZOSA, 1991; CLEMENTINI et al., 1993). Quando analisada sob a ótica topológica, a rede de drenagem estruturada é organizada de tal forma que possibilita ao sistema responder a algumas perguntas do tipo:

- Quais as drenagens que fazem parte da margem direita e da margem esquerda do rio principal?
- Qual a drenagem e a ordem (organizada, por exemplo, segundo a metodologia de Strahler) que deságua no lago?

- Quais são as linhas de drenagem de primeira ordem localizadas a montante do lago?
- Dentro de uma faixa de 100 metros de distância da via, quais são os pontos cotados que estão dentro desse intervalo?

Os softwares Terra View e o Sistema de Informações Georreferenciadas (SPRING), ambos desenvolvidos pelos pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) são exemplos de programas que trabalham com topologia em suas operações de análise espacial. Embora o ILWIS não constitua um SIG que utilize fundamentalmente o modelo de dados vetorial, também oferece a possibilidade de extrair uma rede de drenagem de um Modelo Numérico de Terreno (MNT). O sistema permite criar arquivos gráficos (matriciais e vetoriais) ligados a tabelas de atributos, que contêm (em cada curso de água), o número de ordem de Strahler, o número de ordem de Shreve, o comprimento total do curso de água calculado ao longo da linha de drenagem e também calculado em linha reta, além de outras informações produzidas automaticamente.

Embora o uso da topologia não seja exclusivo dos SIG que utilizam o modelo de dados gráficos *raster* ou matricial, tradicionalmente atribui-se essa característica aos sistemas vetoriais. Isso é de fato uma necessidade quando se pretende trabalhar com redes (por exemplo, de transportes), executar funções de geocodificação (atribuição de coordenadas relacionadas ao seu endereço postal) e outras operações de análise espacial complexa que somente teriam sentido no espaço gráfico contínuo do modelo vetorial.

Na representação *raster* ou matricial, o espaço é regularmente dividido, de forma discreta, dentro de células ou *pixels* (de *picture element*) geralmente quadradas. A localização dos objetos geográficos é estruturada pela posição da célula em relação ao número de linhas e colunas. Conforme colocam Câmara e Monteiro (2004), nessa representação, o espaço é retratado como uma matriz  $P(m, n)$  composto de  $m$  colunas e



$n$  linhas em que 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. As imagens de satélite (Figura 11.4), mapas escaneizados e modelos de superfície contínuas geradas por métodos de interpolação espacial (que adotam malha de grade regular retangular) são alguns exemplos de dados com estrutura *raster*. Por ter essa estrutura espacial discreta, formada por células, os mapas e as imagens que seguem a representação matricial apresentam a característica de serem "opacos", ou seja, não transparentes, se comparados aos produtos gráficos provenientes da representação vetorial. Ainda, é este o principal motivo pelo qual se utilizam imagens de satélite e mapas escaneizados (produtos tipicamente matriciais), como fundo gráfico sobre o qual se sobrepõem mapas vetoriais em processo de criação ou atualização. Esse processo é conhecido como vetorização manual ou digitalização na tela (*screen digitizing*) e nos últimos anos, por motivos óbvios, veio substituir quase totalmente o uso da mesa digitalizadora.

A conversão de um dado com estrutura vetorial  $\rightarrow$  *raster* (mais comum) ou *raster*  $\rightarrow$  vetor é normalmente feita sem dificuldade, pois a maioria dos programas existentes conta com esse tipo de recurso, que é conhecido como vetorização automática. Porém, é importante tomar cuidado com o uso indiscriminado deste recurso para não degradar a qualidade e o posicionamento

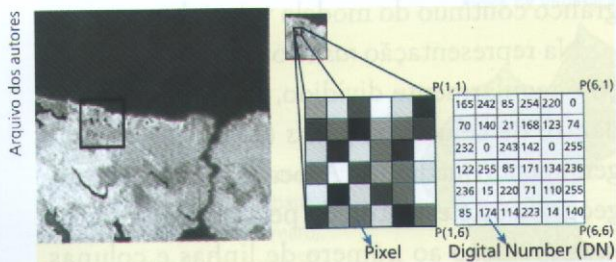


Figura 11.4. Imagem de satélite mostrando em detalhe os pixels da imagem e os seus valores correspondentes em números digitais (*digital number*). Fonte: Jensen (1996).

das feições representadas (MARBLE, 1990). O efeito de degradação da conversão vetorial  $\rightarrow$  *raster* é ilustrado na Figura 11.5.

Comparando brevemente as estruturas vetoriais e *raster*, algumas diferenças que repercutem no domínio de aplicação são observadas. A Tabela 11.1 sintetiza algumas destas características.

## O SIG ILWIS

O SIG ILWIS é um *software* livre e de código aberto desenvolvido pelo ITC da Holanda, que contém uma ampla gama de recursos voltados para entrada de dados, tanto que muitos usuários o empregam principalmente como interface de conversão de formato entre diversos pacotes SIG ou apenas para digitalização e vetorização em tela, edição e recuperação de arquivos gráficos (tanto matriciais como vetoriais). O programa é baixado gratuitamente na página eletrônica <<http://52north.org>>. No site do ITC (<[www.itc.nl](http://www.itc.nl)>), encontra-se disponível o tutorial do ILWIS em diferentes línguas. Quando familiarizado com o programa, o usuário também pode baixar o guia de aplicações do ILWIS (*Application Guide*), que trata de assuntos mais específicos que abordam diferentes temas.

Outros SIG gratuitos como o SPRING (desenvolvido pelo INPE) e GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) também po-

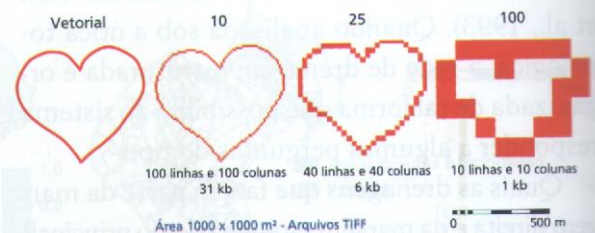


Figura 11.5. Conversão da estrutura vetorial para o *raster* com diferentes valores de tamanho do pixel (10, 25 e 100 metros). Note o efeito de degradação da feição gráfica. Organização dos autores.



dem ser utilizados para desenvolver as aplicações descritas a seguir.

### Mapeando a fragilidade ambiental

O mapeamento da fragilidade ambiental é importante para o planejamento físico-territorial porque avalia as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando as características naturais do terreno com as suas restrições. Assim, informações relacionadas a, por exemplo, tipo de solo, condições do terreno e uso da terra e cobertura vegetal são analisadas de forma integrada, gerando um produto síntese que expressa a combinação desses temas à vulnerabilidade ou fragilidade do ambiente ao desencadeamento dos processos erosivos.

Tradicionalmente, este tipo de análise integrada tem sido feito há bastante tempo na Geografia por meio de sobreposição de pranchas, utilizando papel vegetal, ultrafan, acetato ou projetores de luz. Ross (1994) foi quem sistematizou a análise da fragilidade ambiental no Brasil propondo uma metodologia (amplamente difundida) intitulada *Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados*.

Essa metodologia combina informações do relevo, solo e graus de proteção do solo para mapear cinco classes de fragilidade: Muito Fraca (1), Fraca (2), Média (3), Forte (4) e Muito Forte (5).

Os procedimentos operacionais para a construção do mapa de fragilidade ambiental exigem, num primeiro instante, a confecção dos mapas do relevo, solo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal. Posteriormente, essas informações são analisadas de forma integrada para gerar num primeiro momento o mapa de fragilidade potencial (produto que sintetiza a fragilidade do relevo juntamente com a do solo). O mapa de fragilidade potencial é combinado, num segundo momento, com as informações do uso da terra e cobertura vegetal gerando-se o mapa de fragilidade ambiental (vulnerabilidade do ambiente associada com os graus de proteções que os diferentes tipos de uso da terra e cobertura vegetal oferecem).

As informações do relevo são extraídas das cartas de declividade, também chamadas de clinográficas. Os intervalos de declividade obedecem aos estudos já consagrados de capacidade de uso/aptidão agrícola associados com os valores críticos da geotécnica. Eles indicam, respectivamente, o vigor dos processos erosivos, dos

Tabela 11.1 – Comparação entre modelos vetoriais e raster

Aspecto	Representação vetorial	Representação raster
Relações espaciais entre objetos	Relacionamentos topológicos entre objetos disponíveis	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos
Ligação com banco de dados	Facilita associar atributos e 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 eficiente
Escalas de trabalho	Adequado tanto para escalas grandes quanto pequenas	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

Fonte: Câmara e Monteiro (2004).



riscos de escorregamento/deslizamento e inundações frequentes. Em relação à fragilidade do solo, considera-se a erodibilidade, que consiste na sua vulnerabilidade em relação à erosão.

Informações da geologia são valiosas para a análise da fragilidade ambiental. As características de solo, relevo e vegetação variam de acordo com as distribuições litológicas e estruturais do terreno. Os processos morfodinâmicos comportam-se de forma diferenciada em função do grau de coesão dos minerais e dos possíveis eventos tectônicos.

Outro elemento que interfere no processo erosivo é o tipo de uso da terra e a cobertura vegetal. Além de proteger o solo contra a perda de material, o uso adequado e a cobertura vegetal protegem-no direta e indiretamente contra os efeitos modificadores das formas do relevo, como, por exemplo, da explosão das gotas de chuva sobre o solo e de sua compactação.

Dados climáticos, principalmente de precipitação, são um dos elementos mais importantes neste tipo de análise porque a chuva exerce papel direto nos processos morfodinâmicos, ativando a erosão e os movimentos de massa. A pluviosidade total, a intensidade e o regime pluviométrico são os principais fatores envolvidos nos processos erosivos. A representação destes fatores está disposta na Figura 11.6, cujos mapas foram elaborados por Campos (2001) e Kawakubo (2003) para o mapeamento da fragilidade ambiental numa bacia com pouco mais de 7.896 hectares, denominada de córrego do Onofre, localizada no município de Atibaia/SP.

## Modelo Digital do Terreno (MDT)

Diferentemente das curvas de nível, que representam as variações espaciais do relevo espaçadas pela equidistância das linhas, o Modelo Digital do Terreno (MDT) representa de forma contínua as variações espaciais do terreno (um tipo de geocampo). Existem diversos métodos

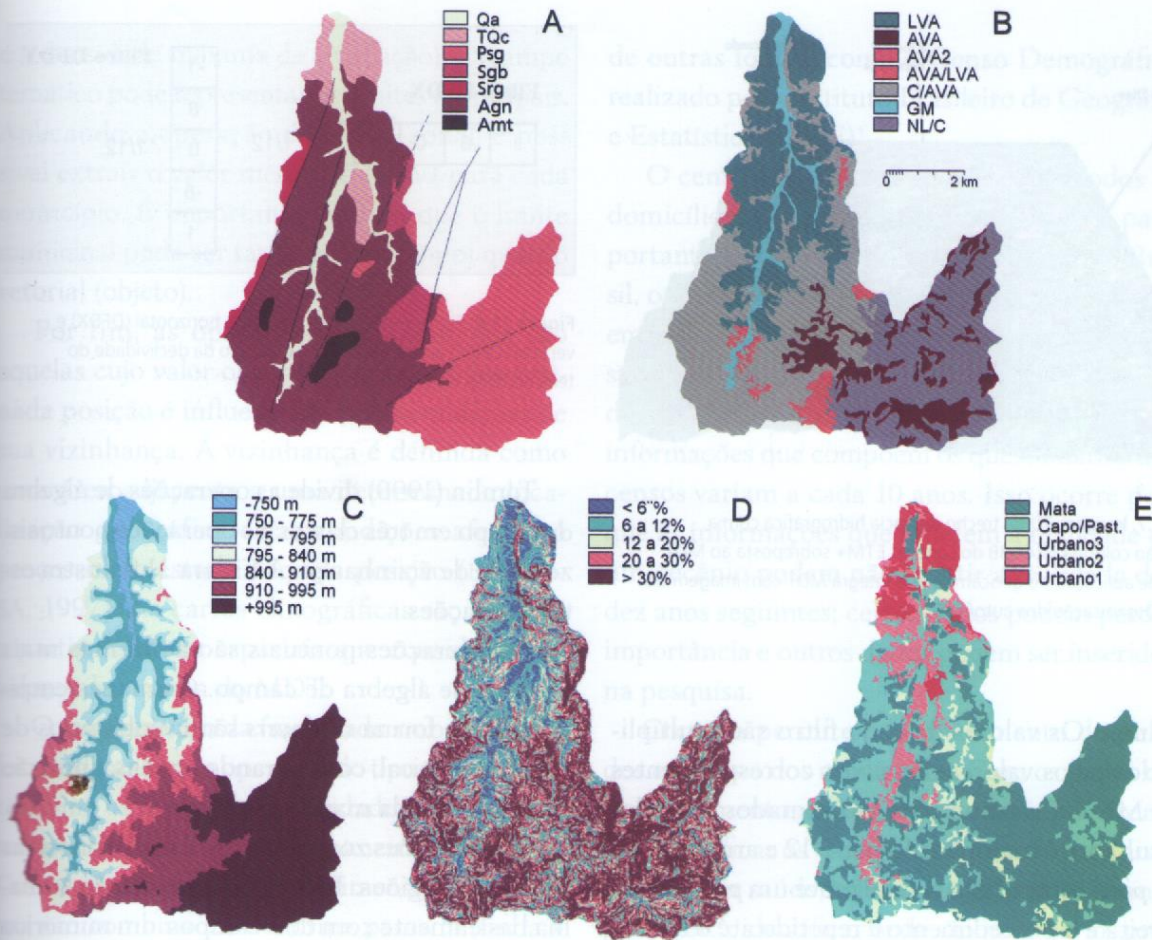
de derivação da superfície do MDT; por exemplo, por meio de técnicas fotogramétricas (que fazem uso da geometria das fotografias aéreas); métodos matemáticos de interpolação espacial (como os modelos de superfície de tendência, krigagem, inverso do quadrado da distância etc.); e os mais modernos, por interferometria de radar de abertura sintética – SAR (que utiliza um par de imagens SAR no modo complexo, ou seja, que possui informação de amplitude e fase da onda para gerar o MDT).

O MDT do ILWIS é gerado a partir da interpolação espacial das curvas de contorno utilizando uma estrutura de grade regular retangular. A operação empregada baseia-se na distância de Borgfors (GORTE; KOOLHOVEN, 1990) e pode ser dividida em duas etapas. A primeira é a conversão das linhas de contorno do formato vetorial para o *raster*. Após essa conversão, os *pixels* cobertos pela linha de contorno possuem valores de altitude e os demais *pixels* estão com valores indefinidos. A segunda etapa é a interpolação linear feita entre os *pixels* com valores de altitude, para obter as elevações dos *pixels* com valores indefinidos entre as linhas de contorno rasterizadas (ou seja, que foram convertidas de vetor para *raster*).

As principais aplicações do MDT na Geografia consistem na geração de cartas de altitude, declividade, orientação das vertentes, forma (expressando a morfologia retilínea, côncava ou convexa das vertentes), sombra, visibilidade, análises de perfis, modelagem hidrológica e geração de superfícies 3D. Para informações complementares sobre os métodos de interpolação espacial e suas aplicações, sugere-se a consulta do livro de Burrough (1986).

O modelo 3D possibilita a visualização do relevo em diferentes perspectivas. Após a seleção adequada dos parâmetros de visualização utilizando a malha de arame (aramado), é possível sobrepor a imagem de satélite sobre o aramado (*drape*). O resultado é uma imagem de satélite em 3D (ver Figura 11.7).





**Legenda da Figura A:**

Qa= Arenitos, Siltitos e Cascalhos de deposição fluvial (Quaternário);  
 TQc = Depósitos coluvionares (Terciário-Quaternário);  
 PSg = Granitos róseos equigranulares e Granitos finos cinzentos (Proterozoico superior);  
 Sgb = Granitos brancos hololeucocráticos (Proterozoico inferior);  
 Srg = Granitos róseos de granulação fina (Proterozoico inferior);  
 Agn= Rochas do Complexo Amparo: Granada-Biotita Gnaiss;e;  
 Amt = Intercalações de Micaxistos, Quartzitos.

**Legenda da Figura B:**

LVA = Latossolo Vermelho Amarelo;  
 AVA = Argissolo Vermelho Amarelo;  
 AVA2 = AVA com cascalho;  
 AVA/LVA = AVA intergrade para LVA;  
 C/AVA = Cambissolo intergrade para AVA;  
 GM = Geissolo Melânico;  
 NL/C = Neossolo Litólico intergrade para C.

Figura 11.6. Mapas do córrego do Onofre (município de Atibaia/SP). Mapa 11.6a: geologia; mapa 11.6b: solos; mapa 11.6c: altimetria; mapa 11.6d: declividade; mapa 11.6e: uso e ocupação do solo.

Uma carta clinográfica registra a inclinação do terreno medida em graus ou porcentagem. Para a sua geração, dois procedimentos são executados. Primeiro calcula-se a inclinação do terreno com base na superfície do MDT. Depois, aplica-se uma classificação unidimensional (fatiamento ou *slicing*, do inglês) para agrupar os intervalos de inclinação do terreno.

O cálculo da declividade do terreno é feito combinando filtros espaciais de gradiente (horizontal DFDX e vertical DFDY) sobre a superfície do MDT (Figura 11.8), seguida pela aplicação de uma fórmula.

De acordo com Morato (2000), os filtros gradientes funcionam como janelas móveis, começando pelo *pixel* da primeira linha e primeira



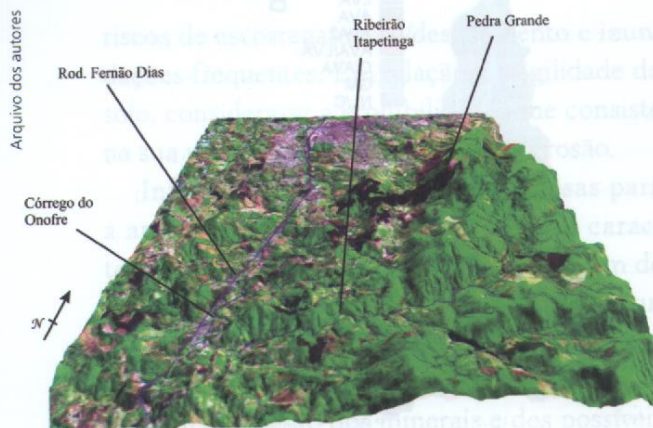


Figura 11.7. Imagem 3D de trecho de bacia hidrográfica com a composição colorida 5R4G3B do Landsat ETM+ sobreposta ao MDT (um tipo de aplicação do geocampo que integra MDT com imagem de satélite). Organização dos autores.

coluna. Os valores de cada filtro são multiplicados pelos valores dos *pixels* correspondentes no MDT. Os resultados são somados e o valor resultante é multiplicado por 1/12 e armazenado no *pixel* central. A janela se move um *pixel* para a direita e o procedimento é repetido até o último *pixel* do MDT.

A imagem com dados clinográficos contém valores contínuos de declividade expressos em porcentagem. Para agrupar os valores de declividade em intervalos, aplica-se uma classificação com um algoritmo de fatiamento (*slicing*) – que nada mais é que uma classificação unidimensional em que valores mínimos e máximos são definidos para o corte.

Existem diversas formas de se combinar e extrair informações de um mapa, seja no formato vetorial ou no modelo *raster*. A álgebra de campo é uma variação da álgebra de mapas que trata especialmente de combinação de mapas em formato *raster*. A sua abordagem baseia-se, primeiro, na conversação das variáveis consideradas na análise para um modelo de grade regular retangular que possui o mesmo número de linhas e colunas (padronização). Posteriormente, os mapas são combinados de acordo com os objetivos pretendidos na análise.

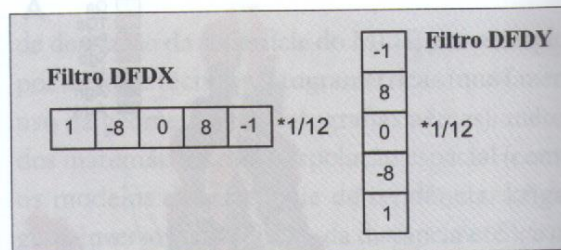


Figura 11.8. Filtros espaciais de gradiente horizontal (DFDX) e vertical (DFDY) empregados para o cálculo da declividade do terreno. Organização dos autores.

Tomlin (1990) divide as operações de álgebra de campo em três classes: as operações pontuais, zonais e de vizinhança. A Figura 11.9 ilustra estas operações.

As operações pontuais são as formas mais comuns de álgebra de campo. Os mapas empilhados em forma de *layers* são combinados de maneira vertical, considerando apenas a posição do *pixel* de cada mapa.

As operações zonais são também conhecidas como por regiões. Este tipo de operação trabalha basicamente com dois campos: um numérico e outro temático. O campo numérico pode ser uma imagem índice de vegetação (NDVI, por exemplo) derivada do Landsat 7 ETM+, cujos valores variam de -1 a +1 (valores teóricos que representam, respectivamente, a ausência total

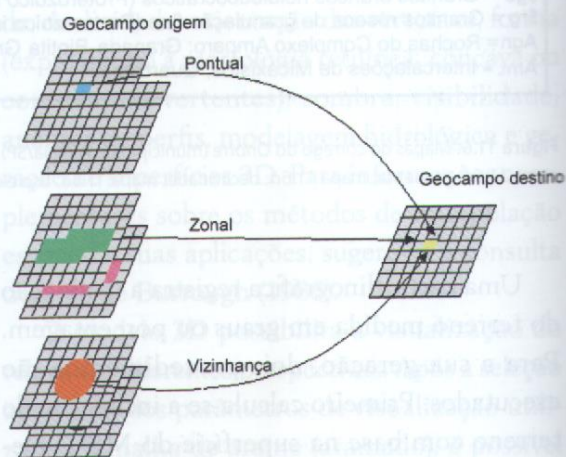


Figura 11.9. Os três principais tipos de operações sobre geocampo segundo Tomlin (1990). Organização dos autores. Fonte: Barbosa (1997), adaptado.



e a densidade máxima de vegetação). O campo temático pode representar os limites municipais. Aplicando a operação de média zonal, é possível extrair o valor médio de NDVI para cada município. É importante lembrar que o limite municipal pode ser tanto *raster* (campo) quanto vetorial (objeto).

Por fim, as operações de vizinhança são aquelas cujo valor observado em uma determinada posição é influenciado pelas condições de sua vizinhança. A vizinhança é definida como uma área adjacente a uma determinada localização geográfica cujas condições afetam o processo em estudo naquela posição (BARBOSA, 1997). As cartas clinográficas são geradas a partir de filtros espaciais que consideram os valores de vizinha do MDT.

O mapeamento da fragilidade ambiental será feito utilizando um operador do tipo pontual que combina os mapas de declividade, solo e uso da terra/cobertura vegetal de maneira qualitativa. Com o uso de uma tabela bidimensional, os mapas são combinados de forma pareada (linha x coluna) formando uma matriz de comparação. O resultado da tabulação é definido pelo usuário, resultando num terceiro mapa que guarda as características estabelecidas pela interseção tabulada.

Para combinar um mapa de declividade com o de solo, é preciso que ambos os mapas estejam em formato *raster* com o mesmo tamanho de *pixel* e de números de linhas e colunas que o mapa de declividade.

## Analizando dados socioeconômicos

O SIG é particularmente útil para analisar dados socioeconômicos, como dados populacionais, por exemplo. É possível fazer mapas com dados primários ou dados secundários. Os dados primários são aqueles levantados pela própria instituição ou pela pessoa que realiza uma pesquisa. Os dados secundários são provenientes

de outras fontes, como o Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)<sup>1</sup>.

O censo é a coleta de dados sobre todos os domicílios e seus habitantes, em todo o país, portanto, não é feito por amostragem. No Brasil, os censos demográficos são realizados de 10 em 10 anos e o IBGE é, por lei, o órgão responsável pela sua realização. A exceção foi o censo de 1991, que deveria ter ocorrido em 1990. As informações que compõem os questionários dos censos variam a cada 10 anos. Isso ocorre porque as informações que refletem a realidade de um decênio podem não refletir a realidade dos dez anos seguintes; certos dados podem perder importância e outros dados podem ser inseridos na pesquisa.

O censo permite o conhecimento do país, dos estados e dos municípios. Com os dados do recenseamento, o Governo poderá, por exemplo: identificar os locais onde é mais importante investir em saúde, educação, habitação, transportes etc.; identificar onde são necessários programas de incentivo ao crescimento econômico, como instalação de polos industriais; ter parâmetros para a distribuição do dinheiro público dos Fundos de Participação dos Estados e dos Municípios (IBGE, 2010).

Comerciantes, industriais e o setor produtivo de um modo geral utilizam os dados do censo para escolher onde instalar fábricas, supermercados, *shopping centers*, escolas, cinemas etc.; para conhecer melhor os trabalhadores brasileiros – quem são, o que fazem, como moram. Essa informação é muito importante para sindicatos, associações profissionais e entidades de classe; para pedir a atenção dos governos para problemas específicos, como a expansão da rede de água e esgoto, a instalação de postos de saúde e assim por diante.

1 Ver Capítulo 14 – Uso e Registro de Fontes Bibliográficas deste livro.



## NA SALA DE AULA

Para aprender a utilizar o SIG, é fundamental ter acesso a um computador e a programas de mapeamento que podem, facilmente, ser instalados usando a internet. O ILWIS, por exemplo, pode ser baixado gratuitamente do *site* oficial da empresa e sua instalação é razoavelmente simples. Alguns *sites* disponibilizam exemplos de aplicação e exercícios que promovem o uso do ILWIS e, conseqüentemente, a aprendizagem do SIG – além de tabelas, vetores, arquivos de pontos e de áreas que podem ser utilizados em exercícios.

### Universidade Martin-Luther

Este *site* disponibiliza informações em inglês.

<[http://www.megwrm.aun.edu.eg/sub/workshop5/pdf/ilwis\\_3.1quick.pdf](http://www.megwrm.aun.edu.eg/sub/workshop5/pdf/ilwis_3.1quick.pdf)>.

### ILWIS

Aprenda sozinho o SIG por meio de exercícios práticos. O *site* apresenta arquivos de dados em inglês.

<[http://www.ilwis.org/user\\_friendly\\_gis\\_teach\\_yourself.htm](http://www.ilwis.org/user_friendly_gis_teach_yourself.htm)>.

### Praticando Geografia

Traz arquivos de dados e exercícios para o aprendizado do ILWIS. Em português.

<<http://www.praticandogeografia.com.br/GIS>>.

### Earthquake Vulnerability and Multi-Hazard Risk Assessment: Geospatial Tools for Rehabilitation and Reconstruction Efforts

Apresenta um estudo de caso completo de utilização do ILWIS 3. Trata-se de uma boa introdução. A análise reúne dados do Norte do Paquistão e está em inglês.

<<http://nceg.upesh.edu.pk/workshop-17to31mar-05/Slides/Day2/GIS%20and%20RS%20training%20manual%20in%20ILWIS/ILWIS%20Intro%203%20Chapter1%20Pakistan.pdf>>.



## REFERÊNCIAS DE APOIO

### Glossário

**Krigagem:** é a forma aportuguesada de *kriging*. Krigagem é um grupo de métodos de interpolação que procura estimar os valores de determinados fenômenos e possui continuidade espacial com base em amostras de pontos conhecidos. A técnica de krigagem possui grande vantagem em relação a outros métodos de interpolação por permitir calcular o erro associado a cada estimativa.

**Coroplético:** método de produção de mapas temáticos que utiliza dados quantitativos relativos, tais como taxas, densidades ou índices por meio de uma sequência ordenada de cores ou tonalidades.



### Bibliografia

ARONOFF, A. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989.

BARBOSA, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Tese (Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1997.

BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon, 1986.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. **Principles of geographical information systems**. Oxford: University Press, 1998.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: Instituto de Computação da UNICAMP, 1996.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004.

CAMPOS, K. C. **Diagnóstico da fragilidade ambiental da bacia do córrego do Onofre, Atibaia**. Monografia (Graduação). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

### Dicas na internet

**52north:** <http://52north.org>

**FreeGIS:** <http://www.freegis.org/>

**GeoLivre:** <http://www.geolivre.org.br/>

**Geo.NET:** <http://www.geoprocessamento.net/>

**gvSIG:** <http://www.gvsig.gva.es/>

**MundoGEO:** <http://www.mundogeo.com.br>

**Open Geospatial Consortium:** <http://www.opengeospatial.org/>

**Open Source GIS:** <http://opensourcegis.org/>

**Spring:** <http://www.dpi.inpe.br/spring/>

CLEMENTINI, E. et al. A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction. In: **Proc. 3rd Symposium Spatial Dataset Systems**. pp. 277-295, 1993.

DAVIS, F. W.; SIMONETT, D. S. GIS and remote sensing. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. **Geographical Information Systems: principles and applications**. London: Longman, 1991. v.1.

EGENHOFER, M.; FRANZOSA, R. Point-set topological spatial relations. **International Journal of Geographical Information Systems**, n. 5, pp. 161-174, 1991.

FINKEL, R.; BENTLEY, J. L. Quadrees: a data structure for retrieval on composite keys. **Acta Informatica**, n. 1, pp. 1-9, 1974.

GOMES, J. M.; VELHO, L. **Computação visual: imagens**. Rio de Janeiro: SBM, 1995.

GORTE, B. G. H.; KOOLHOVEN, W. Interpolation between isolines based on the Borgfors distance transform. **ITC Journal**. n. 3, pp. 245-247, 1990.

IBBS, T. J.; STEVENS, A. Quadtree storage of vector data. **International Journal of Geographical Information Systems**, n. 1, pp. 43-56, 1988.

IBGE. **IBGE Teen!** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/duvidas/censodemografico.html>> (acesso: jan/2010).

JENSEN, J. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. New Jersey: Prentice Hall, 1996.



KAWAKUBO, F. S.; CAMPOS, K. C.; MORATO, R. G.; LUCHIARI, A. Cartografia da fragilidade ambiental com uso de técnicas de sensoriamento remoto e de análise espacial. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM GEOGRAFIA, 1, 2003, São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, 2003.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. *Geographic information systems and science*. Chichester: John Wiley & Sons, 2007.

MAGUIRE, D. J. An overview and definition of GIS. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. *Geographical information systems: principles and applications*. London: Longman, 1991. v.1.

MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. *Geographic information systems and science*. Chichester: John Wiley & Sons, 2005.

MARBLE, D. F. Geographic information systems: a overview. In: PEUQUET, D.; MARBLE, D. F. *Introductory readings in geographic information systems*. Londres: Taylor & Francis, 1990.

MORATO, R. G. *O geoprocessamento como subsídio ao estudo da fragilidade ambiental*. Monografia (Graduação). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

PEUQUET, D. J. A conceptual framework and comparison of spatial data models. *Cartographica*, v. 21, n. 4, pp. 66-113, 1984.

PROMINÉRIO. *Mapa geológico da quadricula de Atibaia*. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, 1985. Escala 1:50.000.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo, DG-FFLCH-USP, n. 8, pp. 63-74, 1994.

SNOW, J. *Sobre a maneira de transmissão do cólera*. São Paulo: Hucitec, 1999.

TOMLIN, C. D. *Geographic information systems and cartographic modelling*. New Jersey: Prentice Hall, 1990.

WESTEN, C.; FARIFTEH, J. ILWIS – Integrated Land and Water Information System. *User's Guide*. Enschede, ITC – International Institute for Aerospace Survey & Earth Sciences, 1997.

WORBOYS, M. F. *GIS: a computing perspective*. London: Taylor and Francis, 1995.

## SOBRE OS AUTORES

**Fernando Shinji Kawakubo** é geógrafo formado pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo e mestre em Geografia Física pela mesma instituição. Atualmente desenvolve doutorado na área de sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal. Desde 2009 é professor da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), onde leciona disciplinas nas áreas de Sensoriamento Remoto, Cartografia e Sistema de Informação Geográfica.

**Rúbia Gomes Morato** possui bacharelado em Geografia (2000), mestrado em Geografia Física (2004) e doutorado em Geografia Humana (2008), todos pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. É professora doutora (RDIDP) dos cursos de bacharelado e licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) desde 2009, onde leciona disciplinas de Cartografia, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Desenvolve pesquisas sobre geoprocessamento em áreas urbanas.

**Reinaldo Paul Pérez Machado** possui graduação em Licenciatura Plena pela Universidad de La Habana (1981) e é doutor em Geografia Humana pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (2001). Fez pós-doutorado na Universitat de Barcelona (2006-2007) e na Universidade de Columbia, em Nova Iorque (2009). É professor doutor na graduação e pós-graduação do Departamento de Geografia da FFLCH/USP desde 1994. Participa do Programa *Erasmus Mundus*, na *Faculty of Geoinformation Science and Earth Observation* da Holanda (2010). Tem experiência na área de Cartografia, com ênfase em Geografia Urbana, Geoprocessamento, SIG aplicado a temas sociais, Análise Espacial e Sensoriamento Remoto.