

## INTRODUÇÃO

### 1.1 POR QUE GEOPROCESSAMENTO ?

O termo *Geoprocessamento* denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Esta tecnologia, denotada por *Geoprocessamento*, influencia de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de *Sistemas de Informação Geográfica (SIG)*, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente.

## 1.2 CONCEITOS DE ESPAÇO E RELAÇÕES ESPACIAIS

### 1.2.1 ESPAÇO GEOGRÁFICO E INFORMAÇÃO ESPACIAL

A informação geográfica apresenta uma natureza dual: um dado geográfico possui uma *localização geográfica* (expressa como coordenadas em um espaço geográfico) e *atributos descritivos* (que podem ser representados num banco de dados convencional).

De forma intuitiva, pode-se definir o termo “*espaço geográfico*” como uma coleção de localizações na superfície da Terra, sobre a qual ocorrem os fenômenos geográficos. O espaço geográfico define-se, portanto, em função de suas coordenadas, sua altitude e sua posição relativa. Sendo um espaço localizável, o espaço geográfico é possível de ser cartografado (Dolfus, 1991).

A noção de *informação espacial* está relacionada à existência de objetos com propriedades, que incluem sua localização no espaço e sua relação com outros objetos. Estas relações incluem conceitos topológicos (vizinhança, pertinência), métricos (distância) e direcionais (“ao norte de”, “acima de”).

Deste modo, os conceitos de *espaço geográfico* (um *locus* absoluto, existente em si mesmo) e *informação espacial* (um *locus* relativo, dependente das relações entre objetos) são duas formas complementares de conceituar o objeto de estudo do Geoprocessamento. Estas formas irão levar à dualidade conceitual na modelagem espacial, onde a noção absoluta de espaço geográfico leva à idéia de conjuntos de campos geográficos e a noção relativa de informação espacial conduz à postulação da existência de conjuntos de objetos geo-referenciados (Worboys, 1995).

### 1.2.2 *RELAÇÕES ESPACIAIS ENTRE FENÔMENOS GEOGRÁFICOS*

Os diferentes fenômenos geográficos, ao se distribuir sobre a superfície da Terra, estabelecem padrões de ocupação. Ao representar tais fenômenos, o Geoprocessamento procura determinar e esquematizar os mecanismos implícitos e explícitos de inter-relação entre eles. Estes padrões de inter-relação podem assumir diferentes formas:

- *correlação espacial*: um fenômeno espacial (e.g. a topografia) está relacionado com o entorno de forma tão mais intensa, quanto maior for a proximidade de localização. Diz-se informalmente que “coisas próximas são parecidas”;
- *correlação temática*: as características de uma região geográfica são moldadas por um conjunto de fatores. Assim, o clima, as formações geológicas, o relevo, o solo, a vegetação formam uma totalidade interrelacionada. Deste modo, pode-se traçar pontos de correspondência entre o relevo e o solo ou o solo e a vegetação de uma região;
- *correlação temporal*: a fisionomia da Terra está em constante transformação, em ciclos variáveis para cada fenômeno. Cada paisagem ostenta as marcas de um passado mais ou menos remoto, apagado ou modificado de maneira desigual, mas sempre presente (Dolfus, 1991);
- *correlação topológica*: de particular importância na representação computacional, as relações topológicas como adjacência, pertinência e intersecção, permitem estabelecer os relacionamentos entre os objetos geográficos que são invariantes à rotação, à translação e à escala.

### 1.3 GEOPROCESSAMENTO PARA PROJETOS AMBIENTAIS: UMA VISÃO GERAL

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes de ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu interrelacionamento. O conceito de *desenvolvimento sustentado*, consagrado na Rio-92, estabelece que as ações de ocupação do território devem ser precedidas de uma análise abrangente de seus impactos no ambiente, a curto, médio e longo prazo.

Tal postura foi sancionada pelo legislador, ao estabelecer dispositivos de obrigatoriedade de Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA), como condição prévia para novos projetos de ocupação do espaço, como rodovias, indústrias e hidroelétricas. Forma ainda a justificativa política para iniciativas como o Programa de Zoneamento Ecológico-Econômico, estabelecido pelo Governo Federal para disciplinar o desenvolvimento da região Amazônica.

Deste modo, pode-se apontar pelo menos quatro grandes dimensões dos problemas ligados aos Estudos Ambientais, onde é grande o impacto do uso da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica: *Mapeamento Temático*, *Diagnóstico Ambiental*, *Avaliação de Impacto Ambiental*, e *Ordenamento Territorial*.

Nesta visão, os estudos de Mapeamento Temático visam a caracterizar e entender a organização do espaço, como base para o estabelecimento das bases para ações e estudos futuros. Exemplos seriam levantamentos temáticos (como geologia, geomorfologia, solos, cobertura vegetal), dos quais o Brasil ainda é bastante deficiente, especialmente em escalas maiores. Tome-se, por exemplo, o caso da Amazônia, onde o mais abrangente conjunto de dados temáticos existente é o realizado pelo projeto RADAM, no qual os dados foram levantados na escala 1: 250.000 e compilados na escala 1:1.000.000.

A área de *diagnóstico ambiental* objetiva estabelecer estudos específicos sobre regiões de interesse, com vistas a projetos de ocupação ou preservação.

Exemplos são os relatórios de impacto ambiental (RIMAs) e os estudos visando o estabelecimento de áreas de proteção ambiental (APAs).

Os projetos de *avaliação de impacto ambiental* envolvem o monitoramento dos resultados da intervenção humana sobre o ambiente, incluindo levantamentos como o feito pelo SOS Mata Atlântica, que realizou um estudo sobre os remanescentes da Mata Atlântica em toda a costa leste brasileira.

Os trabalhos de *ordenamento territorial* objetivam normatizar a ocupação do espaço, buscando racionalizar a gestão do território, com vistas a um processo de desenvolvimento sustentado. Neste cenário, estão em andamento hoje no Brasil uma grande quantidade de iniciativas de zoneamento, que incluem estudos abrangentes como o zoneamento ecológico-econômico da Amazônia Legal (Becker e Egler, 1997) até aspectos específicos, como o zoneamento pedo-climático por cultura, coordenado pela EMBRAPA.

Todos estes estudos tem uma característica básica: a *interdisciplinaridade* (Moraes, 1997). Decorrente da convicção de que não é possível compreender perfeitamente os fenômenos ambientais sem analisar todos os seus componentes, estes projetos buscam sempre uma visão integrada do questão ambiental.

Como consequência natural, o uso de Geoprocessamento em projetos ambientais requer o uso intensivo de técnicas de *integração de dados*. Diferentemente de aplicações como Cadastro Urbano, que lidam com um conjunto limitado de dados geográficos (essencialmente mapas no formato vetorial e tabelas de bancos de dados relacionais), os estudos ambientais - para ser feitos de forma adequada - requerem que o especialista em Geoprocessamento combine ferramentas de análise espacial, processamento de imagens, geo-estatística e modelagem numérica de terreno. Nesta perspectiva, o presente tutorial apresenta uma ênfase nos aspectos de integração de dados, procurando descrever toda a diversidade de dados e funções utilizados em projetos de Geoprocessamento para estudos ambientais.

#### 1.4 DESCRIÇÃO GERAL DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

O termo *Sistemas de Informação Geográfica* (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão *georreferenciados*, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica. Os dados tratados em geoprocessamento tem como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados.

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. 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, apresentam-se a seguir algumas definições de SIG:

*“Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados” (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:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários 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, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

### **1.5 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 1.1 indica o relacionamento dos principais componentes ou subsistemas de um SIG. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes num SIG.

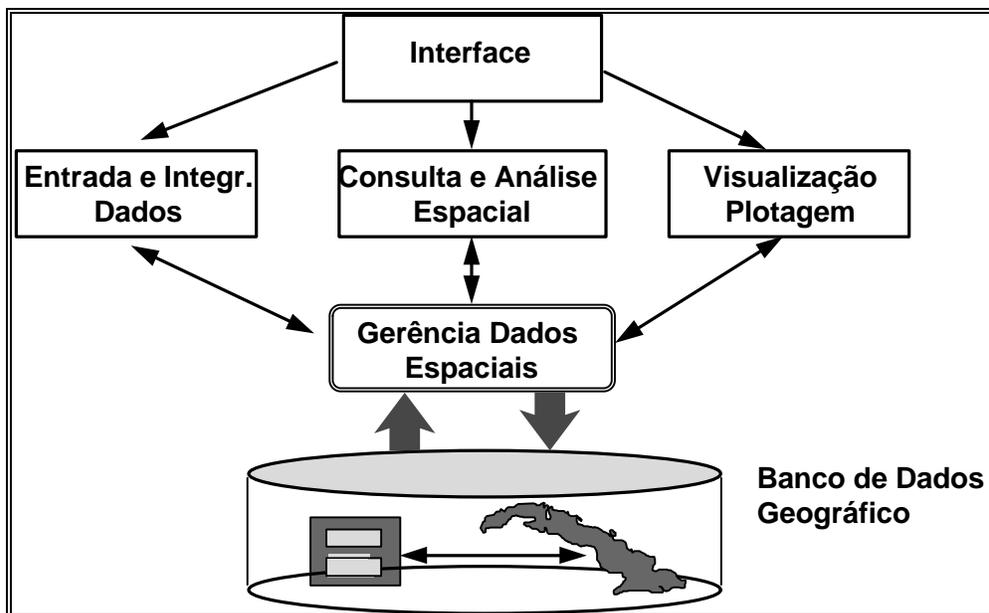


Figura 1.1 - Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.

## 1.6 ANÁLISE ESPACIAL

O objetivo principal do Geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as interrelações entre diferentes fenômenos. Tomemos um exemplo: ao analisar uma região geográfica para fins de zoneamento agrícola, é necessário escolher as variáveis explicativas (p.ex., o solo, a vegetação e a geomorfologia) e determinar qual a contribuição de cada uma delas para a obtenção de um mapa resultante.

Alguns exemplos dos processos de análise espacial típicos de um SIG estão apresentados na tabela abaixo (adaptada de Maguire, 1991).

TABELA 1.1  
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 ?”

Tome-se um exemplo concreto para explicitar os conceitos acima. 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 onde 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 1.2.



Figura 1.2 - Mapa de Londres com casos de cólera (pontos) e poços de água (cruzes) (adaptado de 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 (comprovada posteriormente) de que o cólera é transmitido por ingestão de água contaminada. Este é uma situação típica onde 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.

## **1.7 ALCANCE E LIMITAÇÕES DO GEOPROCESSAMENTO**

Uma questão sempre controversa (e para a qual não existe uma resposta definitiva) diz respeito às possibilidades e limitações do uso dos sistemas de informação geográfica. Os SIGs oferecem uma plétora de ferramentas para processar os dados ambientais, que permitem a expressão de procedimentos lógicos e matemáticos sobre as variáveis geo-referenciadas com uma economia de expressão e uma repetibilidade impossíveis de alcançar em análises tradicionais.

Esta multiplicidade de funções, no entanto, pode ser utilizada de forma pouco rigorosa. Ao produzir novos mapas por combinação e manipulação, sem o cuidado de controlar o procedimento, muitos usuários não conseguem explicar os resultados obtidos e deles tirar conclusões objetivas. Por este motivo, há os que advogam a incapacidade de expressar relações espaciais e temporais complexas através de procedimentos lógico-matemáticos, e assim preferem limitar o uso de SIG a ferramentas de desenho de mapas. Para evitar os dois extremos, o ideal é que o especialista possa projetar seus experimentos e modelos levando em conta o potencial das ferramentas disponíveis em SIG.

Esta questão nos leva ao tema central deste curso. O uso consistente de SIGs para estudos ambientais requer que duas pre-condições sejam satisfeitas: o domínio dos fundamentos teóricos de Geoprocessamento e uma metodologia de trabalho solidamente baseada. Esta metodologia deve estar associada a um modelo preditivo que combine operações realizadas num SIG com a interpretação (por vezes necessariamente subjetiva) do especialista.

Para estabelecer a metodologia, deve-se levar em conta a natureza essencialmente numérica das operações em computador. Como se verá em capítulos posteriores, a simples transposição de técnicas tradicionais de análise para o ambiente do SIG é inadequada. A experiência tem mostrado que o uso de métodos quantitativos de análise (que envolvem técnicas como classificação contínua e geo-estatística) produz resultados de maior acurácia e flexibilidade do que procedimentos qualitativos (como a análise booleana).

Mesmo considerando o uso de técnicas quantitativas, permanece a questão central: existem limitações inerentes ao uso de SIGs ? O que pode e o que não pode ser explicado e modelado por técnicas de Geoprocessamento ?

Para responder a estas questões, necessitamos de uma visão epistemológica mais abrangente, e aqui iremos retomar os termos utilizados por Santos (1985) que, para descrever as relações que explicam a organização do espaço, utiliza os conceitos de *forma*, *função*, *estrutura* e *processo*. Segundo este autor, a *forma* é o aspecto visível do objeto, referindo-se, ainda, ao seu arranjo, que passa a constituir um padrão espacial; a *função* constitui uma tarefa, atividade ou papel a ser desempenhado pelo objeto; a *estrutura* refere-se à maneira pela qual os objetos estão inter-relacionados entre si, não possui uma exterioridade imediata - ela é invisível, subjacente à forma, uma espécie de matriz na qual a forma é gerada; o *processo* é uma estrutura em seu movimento de transformação, ou seja, é uma ação que se realiza continuamente visando um resultado qualquer, implicando tempo e mudança.

Para esclarecer ainda mais sobre a apreensão do que vem a ser a organização espacial, Santos (1985) afirma: “*Forma, função, estrutura e processo são quatro termos disjuntivos associados, a empregar segundo um contexto do mundo de todo dia. Tomados individualmente apresentam apenas realidades, limitadas do mundo. Considerados em conjunto, porém, e relacionados entre si, eles constroem uma base teórica e metodológica a partir da qual podemos discutir os fenômenos espaciais em totalidade*”.

Nesta perspectiva, pode-se afirmar que as técnicas de Geoprocessamento não conseguem resolver de forma plena as dualidades *forma-função* e *estrutura-processo*. Como o uso de SIG, podemos caracterizar adequadamente a *forma* de organização do espaço, mas não a *função* de cada um de seus componentes; podemos ainda estabelecer qual a *estrutura* do espaço, ao modelar a distribuição geográfica das variáveis em estudo, mas dificilmente poderemos estabelecer,

apenas com os dados armazenados num banco de dados geográfico, a natureza dinâmica dos *processos* de constante transformação da natureza, em consequência das ações do homem.

Por um lado, os SIG dispõem de mecanismos poderosos para expressar a estrutura do espaço. Tome-se, como exemplo, a geração de mapas de declividade e exposição de vertentes, caso em que os procedimentos de interpolação numérica de um SIG podem ser muito mais eficientes que as técnicas tradicionais. Por contraste, a contribuição relativa da declividade para estudos como aptidão agrícola só pode ser estabelecida a partir de uma escolha consciente, feita pelo especialista, e que leva em conta a dimensão teleológica da questão: o que, afinal, estamos querendo estabelecer como resultado? Para usar a formulação de Santos, a relação dialética entre *estrutura e processo* apenas poderá se resolver quando da contraposição entre o computador (que armazena a estrutura de organização do espaço) e o especialista (que compreende a dinâmica do processo).

Esta abordagem nos permite construir uma visão não maniqueísta da tecnologia de Geoprocessamento. Nem panacéia com procedimentos de aplicação universal, nem mero instrumento de automação de técnicas estabelecidas, os SIG requerem de seus usuários uma postura ativa e crítica. Ao mesmo tempo em que é necessário compreender a complexidade dos procedimentos lógico-matemáticos do Geoprocessamento, é preciso dispor de metodologias que capturem a dinâmica dos processos espaciais, não expressáveis explicitamente num banco de dados geográfico. Este equilíbrio entre forma e função, e entre estrutura e processo está na essência do uso adequado do Geoprocessamento.