

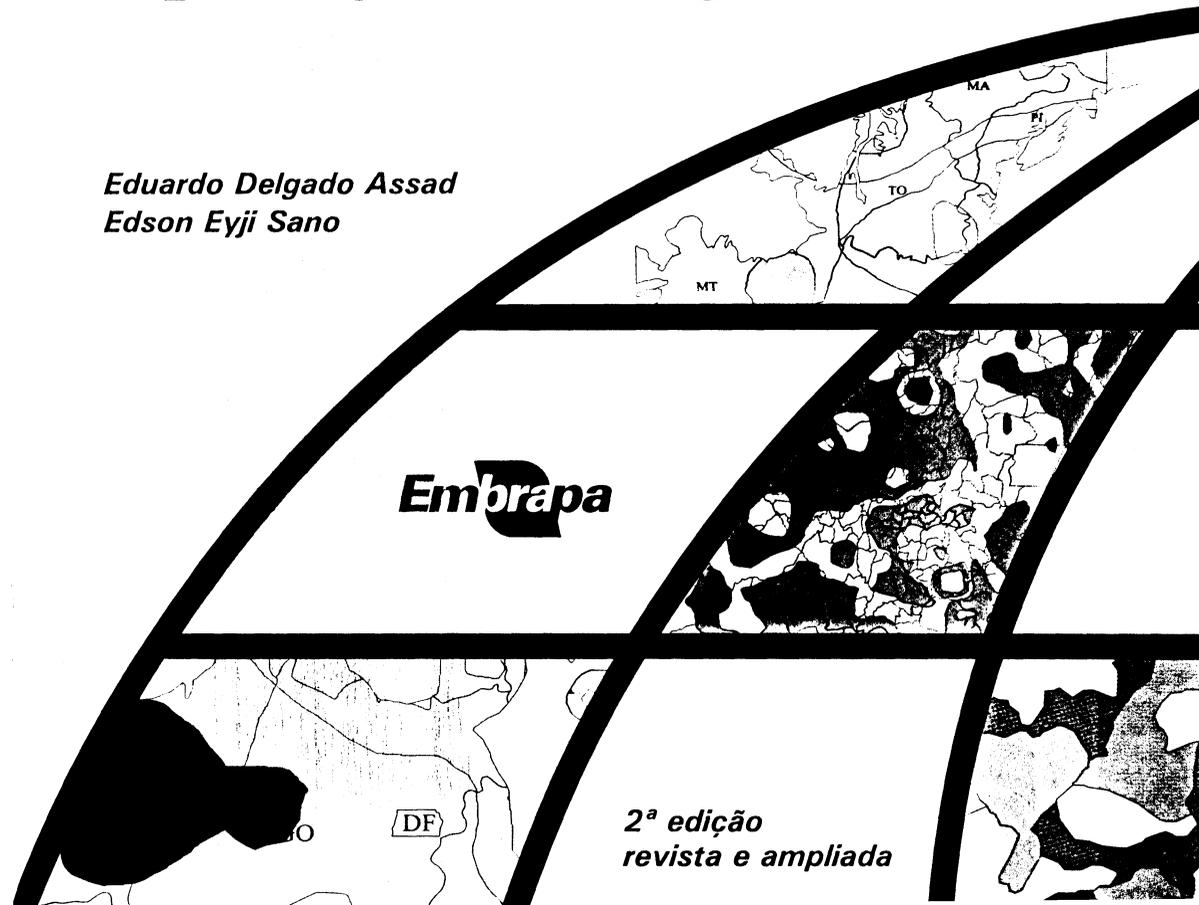
# Sistema de Informações Geográficas

Aplicações na Agricultura

*Eduardo Delgado Assad  
Edson Eyji Sano*

**Embrapa**

*2ª edição  
revista e ampliada*



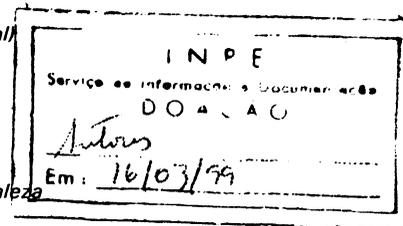
**Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:**

**Embrapa Produção de Informação**

SAIN Parque Rural — Av. W3 Norte (final)  
Caixa Postal 04315  
CEP 70770-901 Brasília, DF  
Fone: (061) 348-4236  
Fax: (061) 272-4168

**Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18 — Rodovia Brasília/Fortaleza  
CEP 73301-970 — Planaltina, DF  
Tel.: (061) 389-1171  
Fax: (061) 389-2953



**Coordenação editorial**

Embrapa Produção de Informação

**Revisor técnico**

Prof. Laerte Guimarães Ferreira Júnior

**Revisão gramatical**

Maria Helena G. Teixeira  
Nilda Maria da Cunha Sette  
Raquel Siqueira de Lemos

**Normalização bibliográfica**

Dauri Antunes Corrêa  
Maria Alice Bianchi  
Maria Tereza Machado Teles Walter  
Rosa Maria E. Barros Ferreira

**Programação visual e arte-final**

Di Oliveira DCM

**Capa**

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

**1ª edição**

1ª impressão (1993): 1.500 exemplares

2ª edição (1998): 2.000 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação do Copyright © (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Embrapa. Serviço de Produção de Informação-SPI.

Assad, Eduardo Delgado.

Sistema de informações geográficas. Aplicações na agricultura / editado por  
Eduardo Delgado Assad ; Edson Eyji Sano — 2.ed., rev. e ampl. — Brasília : Embrapa-  
SPI / Embrapa-CPAC, 1998.  
xxviii, 434p. : il.

Inclui bibliografia.

ISBN 85-7383-045-X

1. Cartografia — Agricultura — Uso. 2. Sistema de Informação Geográfica —  
Agricultura — Uso. 3. Modelo numérico do terreno. 4. Agroclimatologia. 5. Solo —  
Uso. 6. Aptidão agrícola. I. Sano, Edson Eyji, ed. II. Título.

CDD 526

©Embrapa 1998

ZADEH, L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*, v.8, p.338-353, 1965.

ZADEH, L.A. Fuzzy sets and systems. *International Journal of General Systems*, v.7, p. 29-138, 1990.

## CAPÍTULO 20

### TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO

Gilberto Câmara  
José Simeão de Medeiros

#### 20.1 Apresentação

Este capítulo traça uma visão retrospectiva e prospectiva sobre a disciplina de Geoprocessamento. Dividiu-se as considerações em duas partes: a evolução dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e as metodologias emergentes para análise geográfica.

No caso de sistemas, identificou-se a existência de três gerações de SIGs, e no caso de metodologias emergentes, foram enfatizadas as questões de inteligência artificial e de classificação contínua.

#### 20.2 Evolução da tecnologia de SIG: três gerações de sistemas

A primeira geração de SIG (“CAD cartográfico”) caracteriza-se por sistemas herdeiros da tradição de Cartografia, com suporte limitado de bancos de dados e cujo paradigma típico de trabalho é o mapa (chamado de “cobertura” ou de “plano de informação”). Desenvolvidos a partir do início da década de 80 para ambientes da classe VAX e, a partir de 1985, para sistemas PC/DOS, essa classe de sistemas é utilizada principalmente em projetos isolados, sem a preocupação de gerar arquivos digitais de dados. Essa geração também pode ser caracterizada como SIG orientado-por-projeto (“project-oriented GIS”).

A segunda geração de SIGs (“banco de dados geográficos”) chegou ao mercado no início da década de 90 e caracteriza-se por ser concebida para uso em ambientes cliente-servidor, acoplado a gerenciadores de bancos de dados relacionais e com pacotes adicionais para processamento de imagens. Desenvolvida em ambientes multiplataforma (Unix, OS/2, Windows) com interfaces baseadas em janelas, esta geração também pode ser vista como sistemas para suporte a instituições (“enterprise-oriented GIS”).

Pode-se prever, para o final da década de 90, o aparecimento de uma terceira geração de SIGs (“bibliotecas geográficas digitais” ou “centros de dados geográficos”), caracterizada pelo gerenciamento de grandes bases de dados geográficos, com acesso por intermédio de redes locais e remotas, com interface via WWW (World Wide Web).

Para esta terceira geração, o crescimento dos bancos de dados espaciais e a necessidade de seu compartilhamento com outras instituições requerem o recurso de tecnologias como bancos de dados distribuídos e federativos. Estes sistemas deverão seguir os requisitos de interoperabilidade, de maneira a permitir o acesso de informações espaciais por SIGs distintos.

A terceira geração de SIG pode ainda ser vista como o desenvolvimento de sistemas orientados para troca de informações entre uma instituição e os demais componentes da sociedade (“society-oriented GIS”).

A Figura 20.1 ilustra a evolução da tecnologia de geoprocessamento.

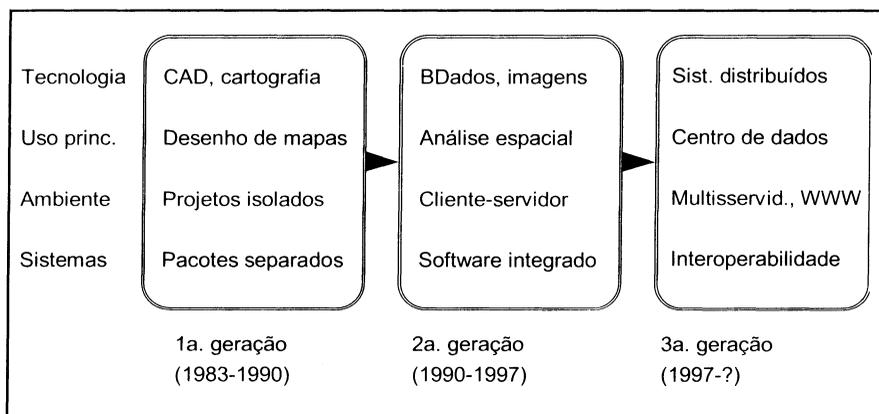


Figura 20.1 - Evolução da tecnologia de SIG.

#### a) Primeira geração: CAD cartográfico

A primeira geração de SIG caracteriza-se por sistemas com operações gráficas e de análise espacial sobre arquivos (“flat files”). Sua ligação com gerenciadores de bancos de dados é parcial, ou seja, parte das informações descritivas se encontra no sistema de arquivos ou são inexistentes.

Mais adequados à realização de projetos de análise espacial sobre regiões de pequeno e médio porte, estes sistemas enfatizam o aspecto de mapeamento. O sistema permite a entrada de dados sem a definição prévia do esquema conceitual, assemelhando-se assim a ambientes de CAD que possuem a capacidade de representar projeções

cartográficas e de associar atributos a objetos espaciais. Por força de sua concepção, tais ambientes não possuem suporte adequado para construir grandes bases de dados espaciais.

A primeira e natural utilização dos SIGs na maioria das organizações é como ferramenta para produção de mapeamento básico. Dada a carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais no Brasil, esta maneira de utilizar a tecnologia de geoprocessamento já representa uma valiosa contribuição. Infelizmente, muitas instituições tomam pouco cuidado em manter uma base de dados digital de seus resultados. Em conseqüência, muitos trabalhos de grande importância estão inacessíveis.

Para citar apenas um exemplo, o projeto “SOS Mata Atlântica” realizou um dos maiores estudos mundiais com a tecnologia de SIG. Foram produzidas mais de 200 cartas na escala 1:250.000, contendo o levantamento de todos os remanescentes da floresta tropical original, a partir da interpretação visual de imagens de satélite. Apesar do excelente resultado obtido, não houve o cuidado de consolidar os resultados num banco de dados geográficos.

#### b) Segunda geração: bancos de dados geográficos

A segunda geração de sistemas se caracteriza por sistemas concebidos para operar como um banco de dados geográficos, entendido como um banco de dados não-convencional onde os dados tratados possuem, além de atributos descritivos, uma representação geométrica no espaço geográfico.

A segunda geração de sistemas ainda está em desenvolvimento, com novos produtos sendo projetados e lançados. A extensão da tecnologia de bancos de dados para tratar dados geográficos requer avanços em vários pontos, incluindo:

- *Modelagem conceitual*: avanços na modelagem conceitual em geoprocessamento são necessários para quebrar a dicotomia matricial-vetorial (NCGIA, 1989) e para gerar interfaces com maior conteúdo semântico (Egenhofer, 1989);
- *Integração Sensoriamento Remoto-Geoprocessamento*: para aplicações ambientais, um dos requisitos mais importantes para a análise espacial é a integração entre mapas temáticos, modelos de terreno e imagens de satélites (Ehlers et al., 1989). Motivação adicional advém de progressos recentes na área de processamento de imagens de satélite, com a disponibilidade de novos sensores como os radares de abertura sintética e de técnicas de interpretação automática como a segmentação e redes neurais;
- *Representações topológicas em múltiplas escalas e projeções*: O gerenciamento de um banco de dados geográficos de grandes dimensões requer a manutenção de múltiplas representações geométricas associadas ao mesmo

dado geográfico. Pode-se pensar, por exemplo, das diferentes representações associadas ao rio Amazonas num banco de dados que cobre toda a região e que esteja particionado geograficamente de acordo com as coordenadas UTM. Em casos como este, o sistema deve separar o dado de sua representação e garantir a unicidade de descrição;

- *Linguagens de consulta, manipulação e apresentação*: A segunda geração de SIG requer linguagens de consulta, manipulação e representação de objetos espaciais de grande poder expressivo. As linguagens de consulta podem ser baseadas em SQL, como a apresentada por Egenhofer (1994) e a manipulação de dados geográficos segue a linha da álgebra de mapas (Tomlin, 1990; Câmara et al., 1994);
- *Novas técnicas de análise geográfica*: A incorporação de novas técnicas de análise geográfica como classificação contínua (Druck & Braga, 1995) e modelagem ambiental (Kemp, 1993) é necessária para que os SIGs sejam capazes de satisfazer de forma plena aos requisitos de análise e modelagem de grandes bases de dados espaciais;
- *Arquiteturas para bancos de dados de grande porte*: A complexidade e o tamanho dos dados geográficos impõem mudanças nos esquemas tradicionais de arquiteturas de sistemas de gerência de banco de dados. Além de avanços em arquiteturas (com o uso de tecnologias como sistemas distribuídos), será preciso dispor de novos métodos de indexação espacial, adequados às massas de dados a serem gerenciadas.

Apesar dos grandes benefícios dos sistemas de segunda geração para as aplicações de geoprocessamento, o seu uso efetivo ainda é muito restrito no Brasil. As principais razões são de ordem institucional. O uso de ambientes cliente-servidor requer competência em administração de Bancos de Dados e de Redes de Computadores, muitas vezes não disponível em instituições usuárias de geoprocessamento. Também se exige um maior investimento para adquirir, instalar e operar sistemas gerenciadores de bancos de dados (SGBDs). Adicionalmente, o grande potencial integrador de SIG só poderá ser exercido quando o sistema integrar-se ao processo produtivo. Isso requer que as bases de dados corporativas sejam transformadas para o mesmo ambiente de SGBD utilizado pelo SIG.

Um excelente exemplo do uso de SIG em ambiente cliente-servidor é o sistema Sagre, desenvolvido pelo CPqD/Telebrás. A partir do suporte oferecido por um SIG (Vision) e por um SGBD com campos longos (Oracle), foram construídas facilidades para operação e gerenciamento de rede telefônica. Esse ambiente está sendo instalado em concessionárias de telefonia em todo o Brasil.

### c) Terceira geração: bibliotecas geográficas digitais

Uma biblioteca geográfica digital (ou um “centro de dados geográficos”) é um banco de dados geográficos compartilhado por um conjunto de instituições. Essa biblioteca deve ser acessível remotamente e armazenar, além dos dados geográficos, descrições acerca dos dados (“metadados”) e documentos multimídia associados (texto, fotos, áudio e vídeo).

Esse novo paradigma é motivado pelo aguçar da nossa percepção dos problemas ecológicos, urbanos e ambientais, pelo interesse em entender, de forma cada vez mais detalhada, processos de mudança local e global e pela necessidade de compartilhar dados entre instituições e com a sociedade.

O núcleo básico de uma biblioteca geográfica digital é um grande banco de dados geográficos. Para ilustrar, imaginemos dois cenários: um grande centro ambiental brasileiro e uma secretaria de planejamento de uma prefeitura de médio porte (cerca de 1.000.000 de habitantes):

- *Cenário 1 (Banco de Dados da Amazônia)*: Este banco conteria informações detalhadas sobre a ocupação humana na região, incluindo temas básicos (vegetação, pedologia, geomorfologia), ocupação humana (desmatamento, grandes projetos agropecuários, áreas de prospecção mineral), temas derivados (zoneamentos econômicos) e imagens de satélite atualizadas. Este banco de dados poderia ser mantido por uma instituição central (como o Ibama) e permitir o acesso de forma concorrente por pesquisadores de todo o país; e
- *Cenário 2 (Prefeitura de Curitiba)*: Esse banco conteria todas as informações necessárias para o planejamento da cidade, incluindo lotes, quadras, ruas, equipamentos urbanos (hospitais, escolas), redes de água, esgoto e luz. Poderia ser consultado on-line pelas diversas secretarias municipais, por concessionárias de serviço e por cidadãos.

Nos dois cenários, o ambiente deve garantir acesso concorrente a uma comunidade de usuários, com diferentes métodos de seleção, incluindo folheamento (“browsing”) e linguagem de consulta.

Um exemplo desta tecnologia é o sistema Eosdis (EOS Data and Information System), projetado pela Nasa para atender ao programa EOS (“Earth Observation System”), que inclui um conjunto de satélites com enorme capacidade de geração de dados (2 Tb/dia).

Tendo em vista o panorama geral, apresentamos os principais requisitos da nova geração de SIG, divididos em grandes áreas: disponibilidade de metadados, acesso via WWW, navegação pictórica (“browsing”) e interoperabilidade.

#### c.1 Requisitos: metadados

A idéia de metadados (ou “dados sobre os dados”) é criar um ambiente que apresente descrições gerais sobre os conjuntos de dados disponíveis localmente ou em centros associados. Um dos principais desafios na construção de ambientes de

metadados é balancear o esforço requerido para descrever as coleções de dados, pois a informação final deve ser suficiente para guiar a busca. Alguns centros têm adotado a filosofia de prover um conjunto mínimo de descritores obrigatórios, com campos em texto livre para informação adicional; esta estratégia minimiza tanto o esforço requerido para compor o relatório quanto a capacidade de busca disponível.

Outro aspecto desejável em ambientes de metadados é a disponibilidade de dados-síntese, na forma de mapas em escala muito reduzida que possam ser utilizados para localizar geograficamente os conjuntos de dados disponíveis.

O ideal é permitir um refinamento do processo de consulta, estabelecendo um caminho contínuo entre o nível mais abstrato de metadados e os dados. Assim, a partir de informação de caráter geral (Banco de Dados da Amazônia), passamos a visões de caráter regional (Estado de Roraima), específico (Mapas de Vegetação de Roraima) até chegar ao dado propriamente dito (Mapa de Vegetação da Região do Rio Demenc em Roraima na escala 1:100.000).

### c.2 Requisitos: acesso via WWW

A disponibilidade de interfaces multimídia via Internet, proporcionada pelo ambiente WWW, permite que os dados geográficos sejam apresentados de forma pictórica (por meio de mapas reduzidos e imagens “quick-look”).

No entanto, o ambiente WWW (com o uso de HTML - Hyper Text Mark-up Language) apresenta alguns problemas para uso com bancos de dados geográficos, principalmente porque a linguagem HTML é navegacional e não suporta a noção de transação<sup>1</sup>. Para poder combinar de forma apropriada a tecnologia WWW/HTML com um ambiente de consulta típico de bancos de dados geográficos, é inevitável lançar mão, além dos recursos pictóricos do HTML, de uma linguagem de consulta com restrições espaciais.

### c.3 Requisitos: navegação pictórica

A navegação pictórica (browsing) pode ser vista como uma seleção baseada em apontamento: uma interface interativa permite ao usuário percorrer o banco de dados.

Prover mecanismos de navegação é importante, pois não se pode supor que o usuário saiba a priori quais os tipos de dados disponíveis e como fazer para ter acesso a estes. As ferramentas de navegação permitem ao usuário ter acesso aos dados com base em sua localização espacial. A Figura 20.2 mostra um possível particionamento por mapas-índice de um país, que poderia ser utilizado no processo de navegação.

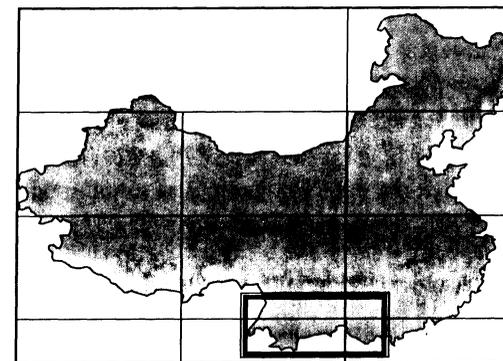


Figura 20.2 - Estrutura de mapas-índice para navegação.

O grande desafio ao montar um ambiente de navegação é garantir rapidez de resposta e interatividade. Para garantir rapidez, é necessário dispor de mecanismos de generalização, que devem ser diferentes conforme os formatos de dados subjacentes. Pode ser necessário, por razões de desempenho, pré-computar os dados necessários ao processo de folheamento.

### c.4 Requisitos: interoperabilidade

O compartilhamento de dados e procedimentos entre bancos de dados geográficos baseados em SIGs distintos é um desafio considerável. Como não existe um modelo de dados geográficos universalmente aceito (ao contrário do modelo relacional para aplicações convencionais), os diversos SIGs do mercado apresentam diferenças significativas na maneira de operar e nos formatos internos de armazenamento.

Para tentar remediar esses problemas, vários países têm estabelecido padrões cartográficos de transferência de dados que almejam preservar a riqueza da informação geográfica (topologia e atributos). Esses padrões buscam uma “neutralidade” com relação aos diferentes fabricantes, e incluem o SDTS (Spatial Data Transfer Standard) nos EUA, o Saif (Spatial Archive and Interchange Format) no Canadá e o Ogis (Open GIS Standard)<sup>2</sup>. Na realidade, estes padrões foram projetados para atuar em níveis distintos, como descritos a seguir.

O SDTS é um padrão de transferência de dados espaciais, baseado num modelo de dados que distingue entre entidades espaciais (entidades do mundo real), objetos espaciais (elementos gráficos simples, com ou sem topologia) e fenômenos espaciais (relacionamentos entre entidades e objetos). A semântica do modelo de dados SDTS inclui ainda informações sobre qualidade de dados. Informações sobre SDTS podem ser obtidas em <ftp://sdts.er.usgs.gov>.

<sup>2</sup> Os autores agradecem a Andrea Hemerly pelas informações sobre o Saif, SDTS e Ogis.

<sup>1</sup> Essa observação, bem como muitas considerações importantes sobre o problema de bibliotecas geográficas digitais, são devidas a Danton Nunes, gerente do nó Grid-Inpe, a quem os autores agradecem.

O Saif é uma linguagem de especificação e troca de dados, baseada num modelo de dados orientado-a-objeto que procura modelar os diferentes tipos de dados geográficos, estabelecendo entre eles relações de identidade, generalização e agregação. Informações sobre o Saif podem ser obtidas no endereço WWW <http://WWW.wimsey.com/infosafe/saif>.

O Ogis é um padrão de interoperabilidade entre SIGs, baseado em tecnologia de objetos distribuídos (Corba e OLE), que prescreve um modelo de alto nível de programação de aplicações em SIG (APM - “Applications Programming Model”). O modelo APM foi concebido para facilitar a implementação transportável de aplicações e serviços. O modelo de objetos geográficos do Ogis é baseado no modelo Saif, o que permitirá estabelecer uma compatibilidade entre estes dois padrões. Informações adicionais sobre o Ogis podem ser obtidas no endereço WWW <http://WWW.ogis.org/>.

No entanto, mesmo que se estabeleça uma transferência de dados entre bancos de dados geográficos com diferentes formatos, deve-se lembrar que, em aplicações complexas como Geoprocessamento, parte substancial da informação está contida nos procedimentos de consulta, manipulação e apresentação<sup>3</sup>. Assim, o intercâmbio de dados não garante a interoperabilidade.

## 20.3 Metodologias emergentes em geoprocessamento

### 20.3.1 Operações de classificação contínua

“O uso de técnicas de classificação contínua busca utilizar as noções de conjuntos nebulosos (*fuzzy*) para substituir os processos tradicionais de geração de mapas.”

Esse aspecto é particularmente evidente no manuseio de mapas temáticos para análises de meio ambiente. Uma fronteira arbitrária, definida precisamente por uma linha, entre dois tipos de solo, representa erradamente o que é, na realidade, uma variação contínua (Burrough, 1986). Quando realizamos operações de superposição entre mapas temáticos, o erro inerente à divisão arbitrária dos mapas em áreas estanques é propagado.

Sui (1992) demonstrou a utilização da lógica nebulosa (*fuzzy logic*) para a modelagem em GIS do uso do solo urbano. Os resultados indicaram que esse tipo de abordagem permite acrescentar mais detalhes sobre a transição gradual e reduz a perda de informação relacionada com os atributos de cada parcela do solo urbano, possibilitando uma identificação mais realística destas parcelas.

Estudos realizados pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos-CNPS, da

<sup>3</sup> Para citar um exemplo nacional, o sistema Sagre da Telebrás consiste em 200.000 linhas de aplicações para redes telefônicas desenvolvidas na linguagem do sistema GeoVision.

Embrapa evidenciaram que os processos tradicionais de análise geográfica (discretizar variáveis para posteriormente combiná-las) engendram uma grande perda de sensibilidade no resultado final.

A alternativa é trabalhar sempre com dados em representação contínua e utilizar análises quantitativas sobre mapas geográficos. Isso equivale, na prática, a trabalhar sempre com modelos numéricos de terreno para representar variáveis espaciais como solo, geomorfologia e vegetação.

Para uma discussão mais detalhada sobre o problema, veja-se Druck & Braga (1995). Uma aproximação de uma função de pertinência nebulosa é dada pelas equações quadráticas  $\mu_L(x)$  e  $\mu_U(x)$ , como segue:

$$\begin{aligned} \mu_L(x) &= 1 && \text{se } x \geq \beta. \\ \mu_L(x) &= 1/[1 + \alpha(x - \beta)^2] && \text{se } x < \beta. \\ \mu_U(x) &= 1 && \text{se } x < \beta. \\ \mu_U(x) &= 1/[1 + \alpha(x - \beta)^2] && \text{se } x \geq \beta. \end{aligned}$$

Na equação  $\mu_L(x)$ , o parâmetro  $\beta$  indica o valor máximo, acima do qual a pertinência *fuzzy* é considerada total (isto é, igual a 1). Abaixo deste valor, a função tem uma forma quadrática, dependendo da variação do parâmetro  $\alpha$ .

Conversamente, na equação  $\mu_U(x)$ , o parâmetro  $\beta$  indica o valor mínimo, abaixo do qual a pertinência *fuzzy* é considerada total (isto é, igual a 1). Acima deste valor, a função tem uma forma quadrática, dependendo da variação do parâmetro  $\alpha$ . A Figura 20.3 ilustra a função  $\mu_L(x)$  para o caso  $\alpha = 1$  e  $\beta = 3$ .

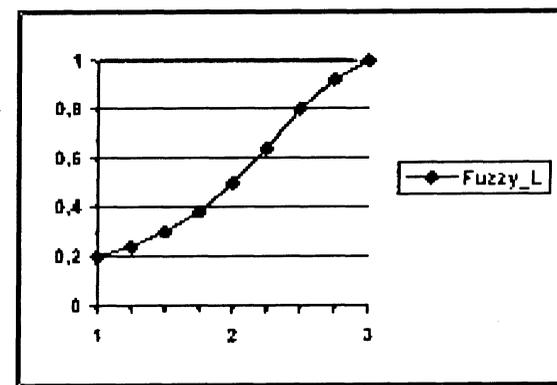


Figura 20.3 - Exemplo de função de pertinência *fuzzy*.

Druck & Braga (1995) mostraram um caso onde se procurava determinar classes de fertilidade de solos. As terras foram classificadas conforme sua exigência em termos de utilização dos insumos. A Tabela 20.1 mostra os níveis de propriedades químicas para os parâmetros Cálcio e Magnésio, Fósforo e Alumínio.

Tabela 20.1 - Classes de fertilidade de solos.

Propriedades	Classes de fertilidade			
	1	2	3	4
Ca <sup>+2</sup> Mg <sup>+2</sup>	Ca+Mg>3	2<Ca+Mg<3	Ca+Mg<2	Ca+Mg<2
P	P > 30	10 < P < 30	P < 10	P < 10
Al <sup>+3</sup>	Al > 0,3	0,3 < Al < 1,5	1,5 < Al < 4	Al > 4

Nesta Tabela 20.1, a classe 1 indica o solo mais fértil e 4, o menos fértil. Para determinar as funções *fuzzy* correspondentes, é escolhido o parâmetro  $\beta$  tal que a primeira classe de níveis de fertilidade de solo tenha o valor nebuloso 1; o parâmetro  $\alpha$  é tal que o valor da função nebulosa  $\mu_{\lambda}(x)$  seja igual a 0,5 quando  $x$  tiver valor inferior à segunda classe de fertilidade. A Tabela 20.2 mostra os parâmetros *fuzzy* obtidos por este critério:

Tabela 20.2 - Parâmetros *fuzzy*.

Propriedades	$\alpha$	$\beta$	Função
Ca <sup>+2</sup> Mg <sup>+2</sup>	1	3	$\mu_L(x)$
P	0,0025	30	$\mu_L(x)$
Al <sup>+3</sup>	0,3	0,694	$\mu_U(x)$

### 20.3.2 Inteligência artificial e Geoprocessamento

Inteligência Artificial (IA) pode ser definida como um conjunto de modelos, algoritmos, técnicas, ferramentas e aplicações, em um sistema computadorizado, que emulam algumas das habilidades cognitivas do homem (Allard & Fuchs, 1993). A IA abrange o conhecimento de diversas ciências, tais como, Ciência da Computação, Linguística, Matemática, Neurofisiologia, Psicologia, que, conjuntamente, objetivam o desenvolvimento de computadores e programas capazes de imitar aspectos do pensamento humano.

Allard & Fuchs (1993) comentaram que as técnicas de alocação dinâmica de memória e o paradigma da programação orientada a objetos tiveram suas origens no campo da IA. Os sistemas baseados em regras do conhecimento, sistemas especialistas e as redes neurais, foram concebidos e têm sido largamente utilizados na solução de problemas complexos, onde os algoritmos e técnicas tradicionais são inadequados.

No contexto do Geoprocessamento, McKeown (1987), baseando-se nas limitações dos SIGs tradicionais em executar consultas complexas, apresentou uma discussão relacionada com a utilização de técnicas de IA e com uma maior utilização de dados de sensoriamento remoto em futuros projetos de SIGs. Nestes novos sistemas, o conceito de SIG deve ser ampliado para incluir imagens de sensoriamento remoto e possuir ferramentas para tratamento (análise e interpretação) destas imagens, que devem ser usadas para atualização da base de dados georreferenciados. Além disso, algumas subáreas da inteligência artificial, tais como a representação e utilização do conhecimento, e a aquisição do conhecimento e visão por computador, atingiram um estágio de maturidade tal que poderão dar um impulso na representação de bases de dados inteligentes e nos sistemas de classificação de uso da terra, que utilizam imagens de sensoriamento remoto.

Smith et al. (1987) descreveram a arquitetura e o funcionamento de um sistema de informações geográficas baseado no conhecimento KBGIS-II (Knowledge-based geographical information system) que foi projetado para satisfazer várias premissas básicas para implementação de um SIG. O sistema possui quatro funções principais: consulta-resposta, aprendizado, edição e treinamento. A capacidade de aprendizado do sistema permite a inclusão de novas localizações de objetos espaciais complexos na base de dados “inteligente”, quando as consultas são respondidas e a capacidade de aprender por indução as definições sobre novos objetos a partir de exemplos que também são inseridas na base de dados “inteligente”.

Cress & Diester (1990) apresentaram um projeto para automatizar a produção de mapas de geologia de engenharia em um SIG “inteligente” que utiliza a interface do sistema especialista “GoldWorks”. Foi criado um conversor de sistema especialista que aceita a “GoldWorks” como entrada e produz um código Fortran como saída, que é utilizado para a geração dos mapas. A utilização destas duas ferramentas permite a produção rápida e eficiente dos mapas além de facilitar o desenvolvimento e a manutenção das regras de decisão necessárias para produção dos mapas.

Mackay et al. (1992) mostraram um sistema especialista denominado KBLIS (Knowledge-based Land Information Manager and Simulator) que permite o gerenciamento de simulações no espaço-tempo dos processos ecológicos em modelos digitais de bacias hidrográficas. Demonstraram ainda que uma base de dados orientada por objetos para uma bacia hidrográfica pode ser facilmente estruturada como um modelo e ser utilizada para construir um sistema de consultas. O KBLIS inclui ainda módulos para modelos digitais de elevação e um sistema de informação que possibilita a seleção, deslocamento, navegação e consultas dos objetos dentro da bacia

hidrográfica, sendo ainda um sistema de apoio para o gerenciamento de recursos em bacias geográficas com florestas em áreas montanhosas.

Kontoes et al. (1993) demonstraram um sistema especialista que vem sendo desenvolvido para integrar a informação geográfica contextual de um SIG em um sistema de análise de imagens de sensoriamento remoto. No experimento, mapas de solos e redes de estradas têm sido utilizados como níveis de informações adicionais na classificação de imagens Spot, tendo em vista a estimativa de área plantada de culturas agrícolas.

Barbosa et al. (1993), abordando o problema de monitoramento de desflorestamento da Amazônia, apresentaram um sistema de classificação que combina técnicas de segmentação e classificação de imagens, utilizando uma arquitetura de redes neurais sobre um classificador nebuloso. Este sistema de classificação apresentou numerosas vantagens quando comparado com os sistemas tradicionais (pixel a pixel) de classificadores estatísticos, porque utilizam informações complexas das imagens tais como parâmetros geométricos, texturais e contextuais.

Para exemplificar, a Figura 20.4 mostra uma rede neural de três camadas concebida para estimar valores de vulnerabilidade natural à erosão, a partir de um conjunto de amostras. Tais amostras foram obtidas de dados de vulnerabilidade gerados por Crepani et al. (1996). Foi utilizado um simulador de redes neurais “shareware”, bastante simples, denominado Neural Planner.

As elipses vermelhas representam os neurônios de entrada, onde são inseridos os dados sobre o meio físico de cada unidade de paisagem interpretada sobre as imagens Landsat/TM. As elipses verdes representam os neurônios intermediários que se interligam entre os neurônios de entrada e o neurônio de saída, a elipse azul, que representa a estimativa de vulnerabilidade. A interligação entre os neurônios (sinapses) são representadas pelas linhas nas cores ciano e amarelo. A espessura destas linhas representam pesos atribuídos a cada sinapse.

A partir de um conjunto de amostras contendo os dados de entrada de cada um dos temas (geologia, geomorfologia, solos e vegetação) e os dados de saída, isto é, as respectivas estimativas de vulnerabilidade, é iniciada uma etapa de treinamento. Nesta etapa, a rede neural é capaz de “aprender” e armazenar a forma de estimar a vulnerabilidade.

A seguir, numa etapa de testes comparativos, com um outro conjunto de dados, é possível avaliar a qualidade das estimativas feitas pela rede neural. Se as estimativas forem corretas, a rede neural estará apta para o cálculo de estimativas de vulnerabilidade (saída), a partir de quaisquer conjuntos de dados de entrada. Caso contrário, inicia-se uma nova etapa de treinamento e testes com novas amostras. Este procedimento deve ser realizado diversas vezes, até a rede neural “aprender” a computar as estimativas corretamente. Maiores detalhes sobre redes neurais podem ser encontrados em Freeman & Skapura (1991).

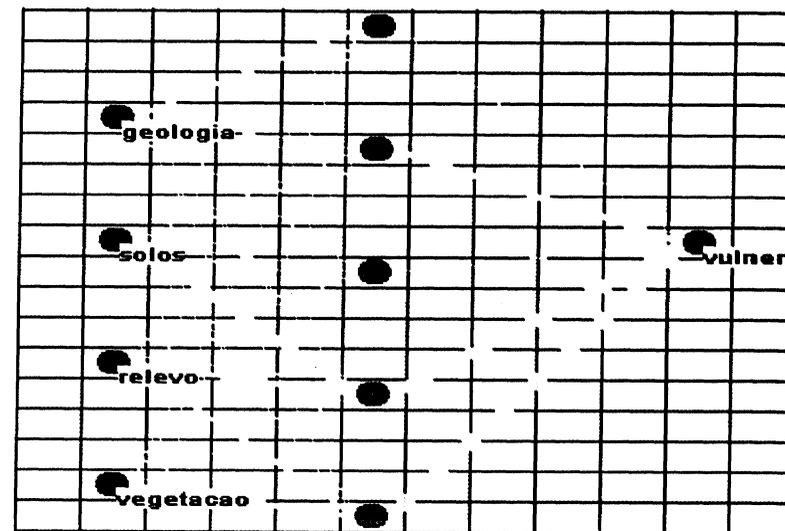


Figura 20.4 - Rede neural para estimativa de vulnerabilidade natural.

#### 20.4 Referências

- ALLARD, F.; FUCHS, J. Artificial intelligence: the state of the art. *ESA's Technology Programme Quarterly*, v.3, n.3, 1993.
- BARBOSA, V.M.; MACHADO, R.J.; LIPORACE, F.S. *A neural system for deforestation monitoring on Landsat images of the Amazon region*. Rio de Janeiro: IBM, 1993. (Technical Report CCR-157).
- BURROUGH, P.A. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford: Oxford University, 1986.
- CÂMARA, G.; FREITAS, U.M.; CORDEIRO, J.P.C. Towards an algebra of geographical fields. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 7., 1994. Curitiba. *Anais...* (S.l.:s.n.), 1994. p.205-212.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; AZEVEDO, L.G. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1996, Salvador. *Anais...* São José dos Campos: INPE/SELP, 1996.
- CRESS, J.J.; DEISTER, R.R.P. Development and implementation of a knowledge-based GIS geological engineering map production system. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.56, n.11, p.1529-1535, 1990.

DRUCK, S.; BRAGA, L.P.V. *Análise e classificação de dados de solos por geoestatística e lógica difusa*. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1995. (Embrapa/CNPS. Relatório interno).

EGENHOFER, M. *Spatial query languages*. Maine: University of Maine - Department of Surveying Engineering, 1989. Ph.D. Dissertation.

EGENHOFER, M. SQL: a query and presentation language. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v.6, p.86-95, 1994.

EHLERS, M.; EDWARDS, G.; BERARD, I. Integration of remote sensing with Geographic Information Systems: a necessary evolution. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.55, n.11, p.1619-1627, 1989.

FREEMAN, J.A.; SKAPURA, D.M. *Neural network-algorithms and programming techniques*. (S.I.). Reading: Addison - Wesley, 1991.

KEMP, K. *Environmental modelling with GIS: a strategy for dealing with spatial continuity*. Santa Barbara: University of Santa Barbara - Department of Geography, 1993. (NCGIA Technical Report 93-3).

KONTOES, C.; WILKINSON, G.G.; BURRIL, A.; GOFREDO, S. An experimental system for the integration of GIS data in knowledge-based image analysis for remote sensing of agriculture. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.7, n.3, p.247-262, 1993.

McKAY, D.S.; ROBINSON, V.B.; BAND, L.E. An integrated knowledge-based system for managing spatial, temporal, ecological simulations. *Artificial Intelligence Applications*, v.7, n.1, p.29-36, 1992.

McKEOWN, D.M. The role of artificial intelligence in the integration of remotely sensed with geographic information systems. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.25, n.3, p.330-347, 1987.

NCGIA. The research plan for the NCGIA. *International Journal of Geographic Information Systems*, v.3, n.2, p.117-136, 1989.

SMITH, T.; PEUQUET, D.; MENON, S.; AGARVAL, P. KBGIS-II: a knowledge-based geographical information system. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.1, n.2, p.149-172, 1987.

SUI, D.Z. A fuzzy GIS modeling approach for urban land evaluation. *Computers, Environment and Urban Systems*, v.16, n.2, p.101-115, 1992.

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

Acurácia 367

Ajuste de linhas 98

Algoritmo 7, 16, 19, 24, 25, 35, 39, 42, 46, 48, 60, 61, 62, 79, 184, 207, 208, 212, 259, 291, 293, 352, 353, 354, 355, 356, 358, 359, 360, 361, 363, 364, 366, 367, 368, 382, 385, 386, 387, 391, 398, 399, 404, 420, 421

Amostragem 26, 182, 253, 258, 354, 568, 373, 381, 385, 389, 399

Análise espacial 8, 49

Arc/Info 27, 28, 29, 64, 67, 82

Arco 15, 16, 22, 40, 58, 59, 60, 84, 363

Arco-nó 15, 20, 22, 41, 55

Arco-nó-polígono 20, 22, 23

Áreas  
     cálculo de 99, 108, 109, 110, 111, 112, 165, 184, 212, 226, 253  
     quantificação de 97, 98, 99, 122, 128, 129, 147, 151, 186, 186, 212

Arquivo  
     ASCII 254, 255, 263, 290, 292  
     cartográfico 94  
     de dados 94, 258, 411  
     de pontos 318, 337, 338, 343  
     de regras 87, 121, 207, 208, 212  
     vetorial 214

Assinatura 344, 356, 370

Atributo  
     de regras,  
         estatísticos 355  
         não-espaciais 8, 22, 27, 28  
         seleção por 76

AutoCAD 28, 216

Banco de dados  
     alfanumérico 98  
     convencional 5, 31  
     espacial 7, 65, 412  
     geográfico 6, 8, 27, 28, 31, 32, 36, 38, 43, 50, 52, 53, 57, 63, 83, 411, 413, 415, 416, 417, 418  
     georreferenciado 3, 52, 189  
     não-convencional 35, 415  
     relacional 411