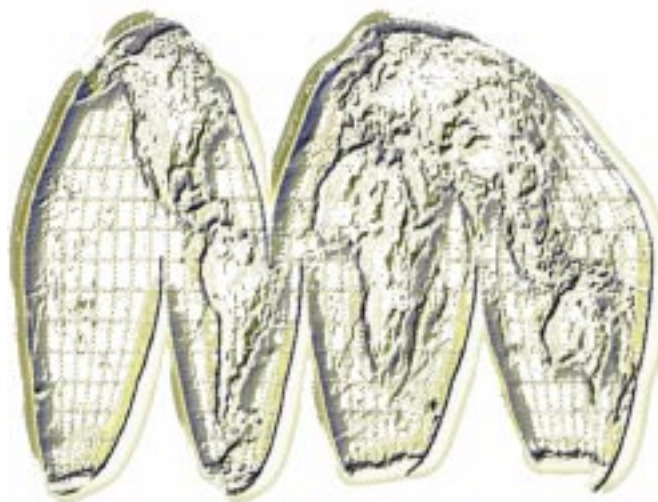


# *Modelagem de Dados Espaciais*



## *CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO*

**BRITALDO SILVEIRA SOARES FILHO**

[britaldo@csr.ufmg.br](mailto:britaldo@csr.ufmg.br)



**Departamento de Cartografia  
Centro de Sensoriamento  
Remoto**



**UFMG**

**2000**

## SUMÁRIO

pg.

<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2. Modelagem Cartográfica</b>	<b>3</b>
<b>3. Álgebra de Mapas</b>	<b>6</b>
<b>4. Os Tipos de Medidas</b>	<b>7</b>
<b>5. Funções e Operadores da Álgebra Cartográfica</b>	<b>7</b>
<b>6. Linguagem de Álgebra Cartográfica</b>	<b>8</b>
<b>7. Tipos de Modelos</b>	<b>11</b>
<b>8. Formulação e Implementação de Modelos</b>	<b>12</b>
<b>9. Técnicas de Parametrização de Modelos</b>	<b>13</b>
<b>10. Referências bibliográficas</b>	<b>15</b>

## 1) Introdução

A arte de modelagem consiste em decompor o mundo real em uma série de sistemas simplificados para alcançar uma visão sobre as características essenciais de um certo domínio. A representação de modelos pode ser realizada através de vários tipos de linguagem, quer seja matemática, lógica, gráfica ou física (modelo reduzido). Neste processo, passa-se por diversos níveis de abstração, no qual a realidade é traduzida para uma série de modelos, até que a solução do modelo possa ser implementada usando-se do potencial analítico do SIG (Fig.1). Por conseguinte, como saída, o SIG produzirá um mapa que será a solução para a formulação da questão ou modelo de investigação (Fig. 2).

Nesta perspectiva, estes SIGs podem ser vistos como uma caixa de ferramenta de processamento de mapas voltada para a solução de modelos, a qual incorpora conceitos fundamentais do espaço geográfico e estimula aplicações criativas. Portanto, tendo em vista que a indústria do SIG tem se desenvolvido para um nível onde questões sobre a estrutura de dados, algoritmos e sua funcionalidade estão se tornando padrões, a avaliação do potencial de um SIG particular se dirige em direção a um tema principal referente a sua capacidade de modelagem de dados (Goodchild 1992).

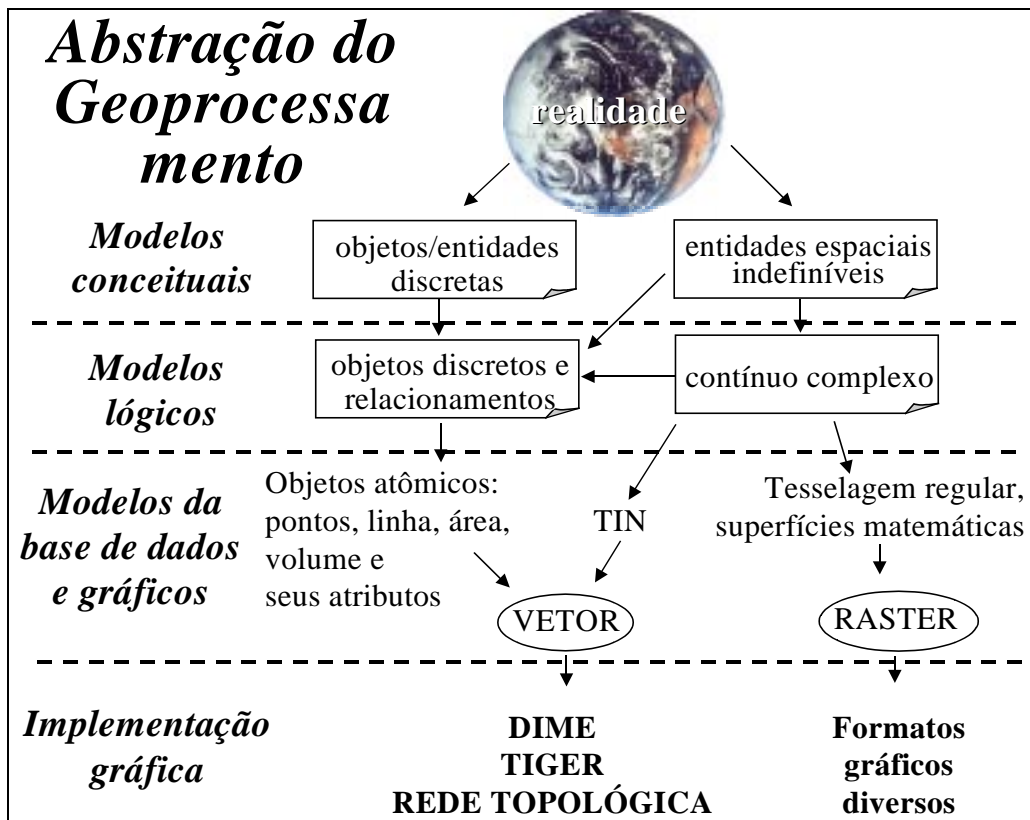


Fig. 1 – Níveis de abstração do Geoprocessamento

Como assinalado na Fig. 1, os entes que compõem um modelo em Geoprocessamento serão considerados como discretos ou contínuo complexo. Como exemplos de entes discretos, citam-se indústrias, propriedades e vias urbanas, e como contínuos são citados o relevo, teor de minério e a temperatura (Fig. 3). A representação espacial dos entes discretos será implementada por um dos três modos de implantação cartográfica, ou seja o ponto, a linha ou a área. Já os contínuos, serão representados por superfícies matemáticas, grades regulares ou irregulares, como no exemplo do TIN (*Triangle Irregular Network*) e pelo formato *raster*. Como mostrado também pela Fig. 1, a representação vetorial está melhor orientada para a representação de objetos e entidades discretas, enquanto que a matricial ou raster estão voltadas para a representação do

contínuo espacial. Como vantagens da estrutura raster, citam-se, que por nela o espaço geográfico estar uniformemente definido, a sua estrutura se aproxima mais das arquiteturas dos computadores, a que a faz mais rápida para avaliações matemáticas e lógicas de múltiplas camadas e também com maior capacidade analítica, haja vista que faz uso inclusive de técnicas de processamento de imagens. Além disso, isto a torna mais apropriada para ser usada no desenvolvimento de simulações pois cada célula tem a mesma forma.

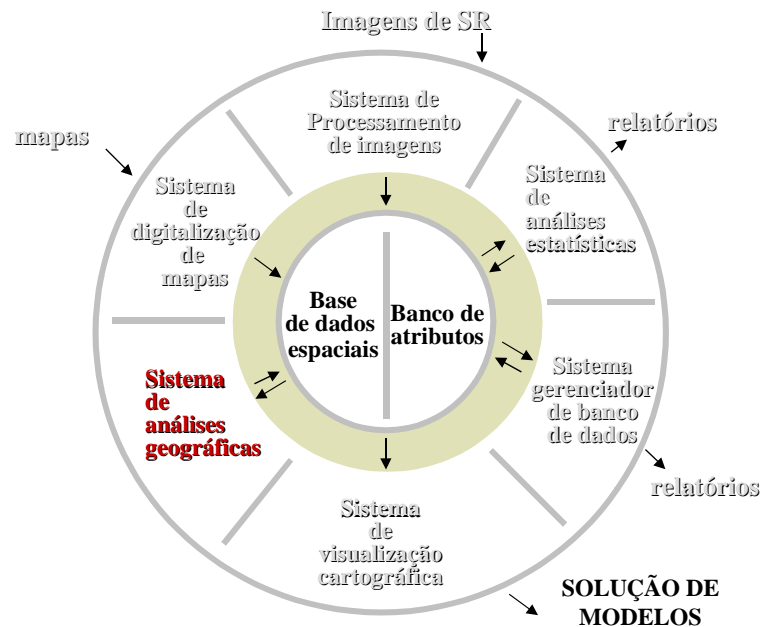


Fig. 2 – Componentes de um SIG, destacando o módulo de análises espaciais ou geográficas . Os mapas produzidos pelo SIG representam a solução para modelos ou questões formuladas para determinado propósito.

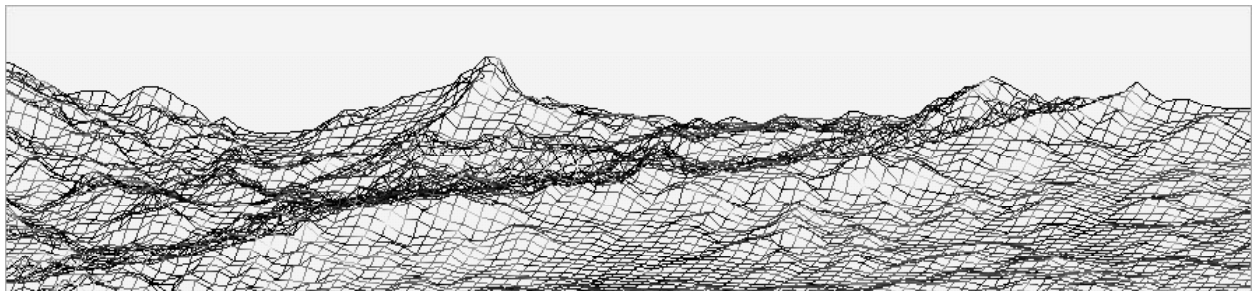


Fig. 3 – Modelo de relevo da Serra do Curral, Belo Horizonte, usando-se uma estrutura de grade regular.

Como também assinalado pela Fig. 1, na estruturação de um modelo em um SIG há a necessidade de conversão no modo de representação dos dados de coleta para a fase de análise. Isto pode ser realizado de diversas maneiras, como no exemplo da transformação de uma representação pontual para uma zonal, usando de processos de interpolação ou mesmo de extrapolação, com exemplificado pela Fig. 4.

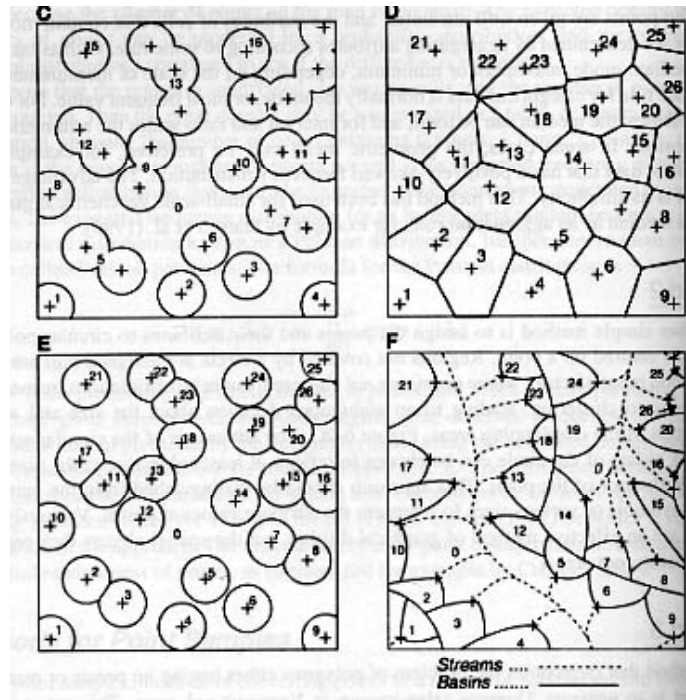


Fig. 4 – Processos de extrapolação de dados: a) e e) extrapolação radial, b) Poligonização de Voronoi e d) Extrapolação adotando células de drenagem.

## 2) Modelagem Cartográfica

Simple reduções da realidade em escala são chamados de modelos icônicos, como no exemplo de uma fotografia área (Hagget, 1972). O mapa ainda pode ser visto como um modelo analógico, onde as feições do mundo real são representadas por uma linguagem simbólica do tipo gráfica, onde os símbolos referem-se a porções abstratas de territórios como palavras podem se referir às partes da realidade (George, 1971). O mapa pode ser também o ponto de contato de uma abordagem quantitativa, na qual ele passa a ser uma ferramenta analítica, ajudando o pesquisador a ver o mundo real sob uma nova luz (Fig. 5). Nesse aspecto, a mapa constitui um modelo simbólico, onde os fenômenos do mundo real são representados por expressões matemáticas abstratas (Hagget, 1972).

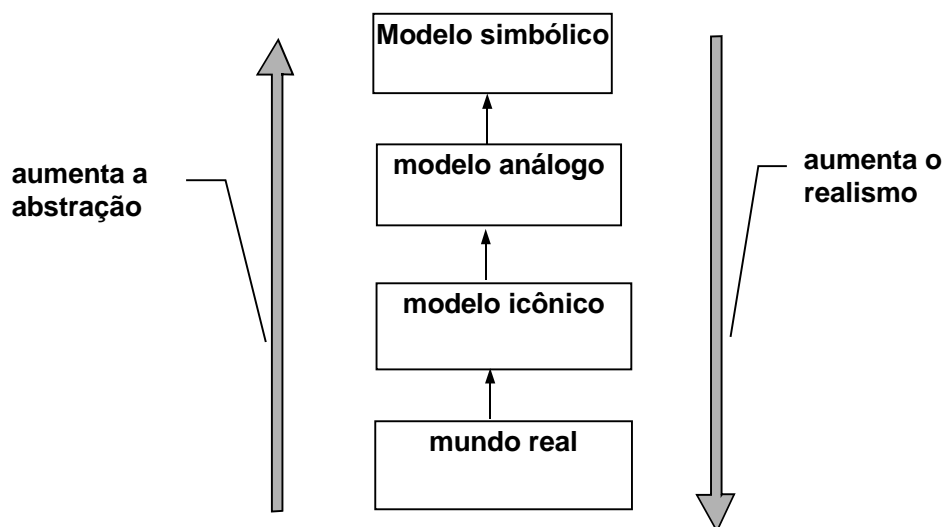


Fig. 5 - O mapa visto como diferentes tipos de modelo do mundo real.  
Fonte: Hagget, (1972).

Esta última abordagem mostra uma evolução da visão tradicional da cartografia, quando o mapa deixa de ser simplesmente um veículo de informação visual, para também ser um instrumento de complexas análises de relacionamentos espaciais (Berry, 1993). Nesse sentido, o mapa digital trouxe uma revolução em termos da manipulação quantitativa dos dados cartográficos, possibilitando a aplicação de inúmeras técnicas matemáticas e estatísticas. Este contexto possibilitou o surgimento de uma verdadeira álgebra espacial associada a uma modelagem cartográfica (Berry e Berry, 1988).

Segundo Tomlin (1990), a modelagem cartográfica envolve mapas e modelos ou seja modelos expressos em mapas. Dentro desta visão, um modelo cartográfico pode ser simplificado a uma coleção de mapas ou camadas de mapas pertencentes a uma área comum e operações entre seus elementos (Fig. 6). Este modelo de camadas ou *overlays* pode ser visualizado por um conjunto de matrizes ou imagens flutuantes a um em registro comum - representação raster -, onde cada camada de informação representa uma variável espacial descrevendo um aspecto da realidade (Burrough, 1991 e Berry, 1993).

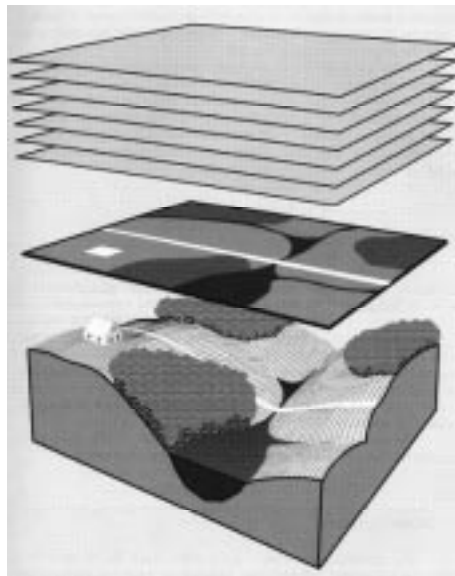


Fig. 6 – Modelo Cartográfico, constituído por mapas raster corrigidos a um sistema comum de projeção cartográfica. No modelo cartográfico, cada mapa ou *layer* descreve uma feição da realidade.

Um modelo cartográfico é composto de camadas de mapas, títulos, resoluções, orientações, zonas e as localizações com as suas coordenada e rótulos ou valores (Fig. 7). Uma camada de mapa, como num mapa convencional, é uma representação plana de formas, tamanhos e posições relativas de uma feição selecionada numa área geográfica. Por conseguinte, uma camada é como se fosse um mapa contendo apenas uma característica da área geográfica. Um típico modelo cartográfico incluirá várias camadas de mapas. Uma camada de mapa contém ainda informação explicativa, como o seu título, resolução, orientação e zonas, projeção cartográfica, sua extensão e origem e formato de armazenamento (Fig. 8). A orientação especifica a direção entre a vertical do mapa e o norte geográfico. A resolução de uma camada descreve a unidade da observação espacial relacionada à dimensão da célula unitária da representação matricial cartográfica. Esta célula unitária, definida pelo par de coordenadas cartesianas e denominada localização, é a menor unidade do espaço cartográfico, para qual os dados são coletados (Tomlin, 1990). Um conjunto de localizações forma uma zona, a qual compreende um conjunto de dados pertencentes a um tema ou classe em uma camada cartográfica, em exemplo de categorias de uso do solo. A forma cartográfica de uma zona pode ser composta de uma só porção ou por um número de fragmentos. As localizações possuem rótulos ou valores. O rótulo corresponde a um nome que

intitula uma zona, já os valores representam as localizações de modo numérico similar aos níveis de cinza numa imagem digital.

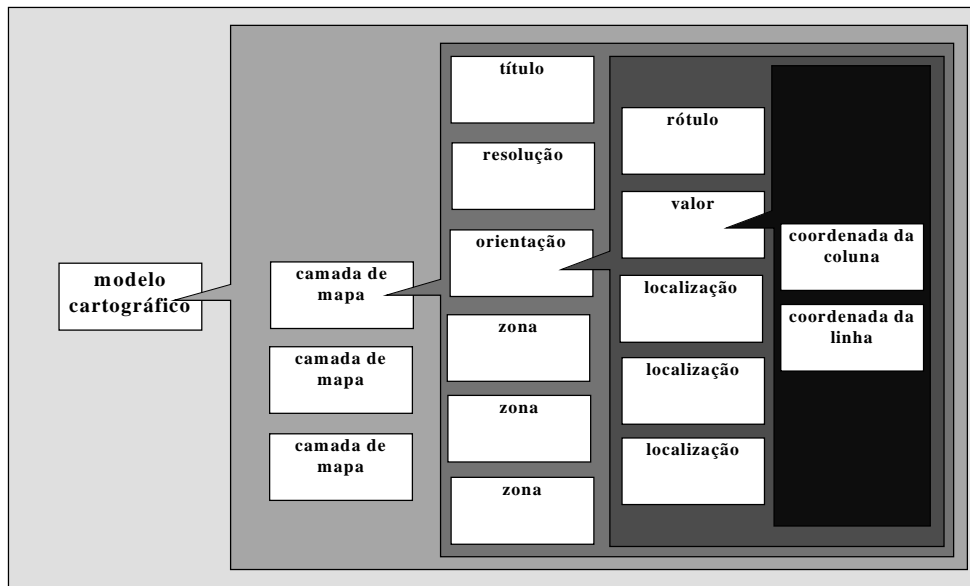


Fig. 7 - Visão hierarquizada de uma organização de dados geográficos.  
Fonte: Tomlin (1990).

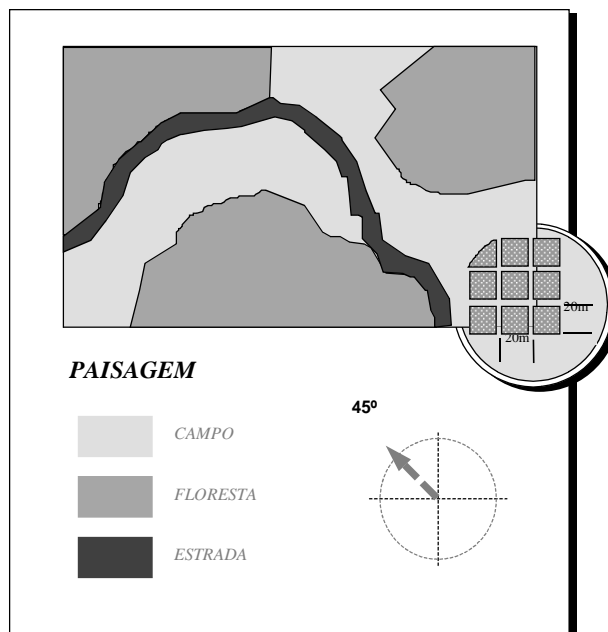


Fig. 8 - Uma camada cartográfica, com seu título, resolução e orientação.  
Fonte: Tomlin (1990).

Em um sentido, a modelagem cartográfica é similar às primitivas técnicas de mapeamento de overlays, envolvendo transparências em uma mesa de luz para o estudo do relacionando de múltiplos fatores espaciais. Tradição da arquitetura de paisagem popularizada pelo trabalho de Macharg (1969). Por outro lado, sua capacidade computacional permite técnicas avançadas de análise espacial, como caracterização de uma vizinhança cartográfica e medidas de distância e conectividade, que estão mais relacionadas ao desenvolvimento recente do processamento de imagens.

### 3) A Álgebra de Mapas

Segundo Berry (1993), uma linguagem de modelagem cartográfica, com a álgebra de mapas, usa uma seqüência de funções primitivas para realizar uma análise complexas de mapas. Nesse sentido, ela é semelhante à álgebra tradicional, na qual operadores primitivos (adição, subtração, exponenciação) são logicamente sequenciados com variáveis para se formar uma equação. No entanto, na álgebra cartográfica, mapas inteiros representam as variáveis (Fig. 9). O procedimento analítico envolve o processamento cíclico de mapas digitais (semelhante à resolução de parênteses de uma equação) usando-se de operações de processamento espacial. Desse modo, uma seqüência lógica, coerente para o desempenho de uma determinada análise cartográfica, envolve a recuperação de um ou mais mapas da base de dados, processamento destes dados como especificado pelo usuário, criação de novo mapa contendo o resultado de processamento e o seu armazenamento para processamento subsequente (Fig. 10).

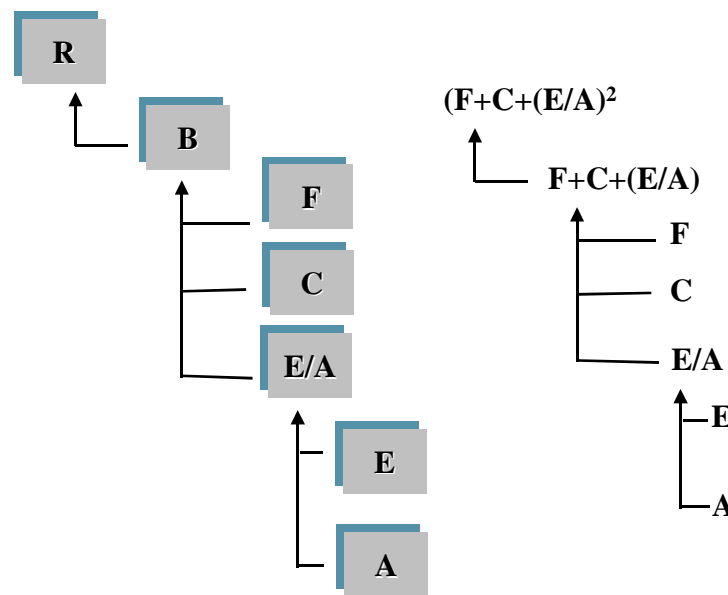


Fig. 9 – A álgebra de mapas comparada com a álgebra convencional.

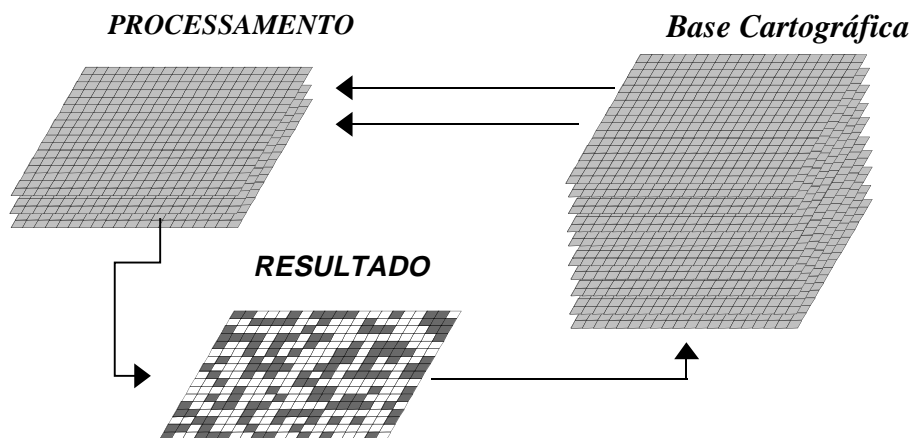


Fig. 10 – O processamento cíclico de mapas utilizado para o equacionamento de uma álgebra cartográfica

Além da capacidade matemática tradicional, a álgebra cartográfica inclui primitivas de processamento cartográfico para transformar, combinar camadas, convolvê-las com filtros de várias maneiras, tais como máscaras de vizinhança, conectividade, proximidades e rotas ótimas, e ainda realizar certas análises estatísticas (Berry, 1993). Nestes termos, a álgebra cartográfica pode ser encontrada embebida em uma linhagem de SIGs, que inclui desde os precursores, como



o SYMAP (Synagraphic Mapping System) criado por Fisher em 1971 (Burrough, 1991), e outros como o GRID, IMGRID e MAP, até aos mais populares como GRASS e IDRISI (Goodchild, 1993).

De acordo com Goodchild (1993), uma linguagem para modelagem ambiental em um SIG deve permitir que o usuário trabalhe com a representação contínua da variação geográfica (geocampos), permitindo que essas variáveis possam ser combinadas simbolicamente. Esta linguagem deve ainda embutir questões sobre a representação discreta dos dados, tais como resolução, fator de amostragem e projeção cartográfica, e ser composta de operadores primitivos de modelagem espacial. É desejável, também, que essa linguagem seja mais próxima possível de uma linguagem natural e apresente a possibilidade de programação com manipulação de erros, execução condicional e estrutura de *loops*.

Dentro deste escopo, Tomlin (1990) traz uma visão formal sobre a linguagem de álgebra de mapas em sua descrição de modelagem cartográfica. Segundo este autor, as convenções fundamentais de uma modelagem cartográfica não se restringe a um SIG particular, no tocante à especificação de *hardwares* e *softwares*. Ao contrário, por serem generalizadas, elas se relacionam a muitos sistemas possíveis no sentido que estabelecem a maneira que os dados são processados e no modo que o processamento é controlado.

#### 4) Os Tipos de Medidas

Os dados geográficos podem ser expressados por quatro tipos de medidas. São estas medidas que vão estar representadas pelos os valores das células ou localizações. Estas incluem os tipos: proporcional, em intervalo, ordinal e nominal (Tomlin, 1990).

Uma medida **razão** representa quantidades em termos de uma posição fixa em relação a um ponto em uma escala linear, como exemplo, citam-se a medida de idade, distâncias físicas e valores monetários.

Medidas em **intervalo-razão** representam quantidades em termos de posição em relação a uma escala linear, mas não em relação a um ponto fixo. Elas são úteis para quantificar diferenças, mas não proporções. São, portanto utilizadas para caracterizar posições relativas, como no exemplo de medidas de temperaturas em diferentes escalas, como a Fahrenheit ou graus Centígrados.

A medida **ordinal** quantifica diferenças em ordem mas não em magnitude, como numa seqüência de primeiro, segundo e terceiro lugares.

E finalmente, **valores nominais** representam qualidades em vez de quantidades sem referência a uma escala linear. Nestes termos, os números são apenas empregados para diferenciar uma observação da outra.

Deve-se destacar que a compreensão destas distinções nos tipos de medidas é fundamental para se obter resultados significativos por meio de processamento digital de mapas, posto que a aplicação de determinadas funções e operadores só vão fazer sentido dependendo do tipo de medida do dado a ser processado.

#### 5) Funções e Operadores da Álgebra Cartográfica

Tomlin (1990) desenvolveu uma linguagem computacional de alto nível para representar uma seqüência de processamento utilizada em uma modelagem cartográfica. Segundo este autor, esta linguagem é composta de operadores e funções espaciais, que se classificam em quatro tipos: **local**, **focal**, **incremental**, e **zonal**. Segundo, Tomlin (1990), cada grupo dessas funções é também combinado com determinados tipos de operadores matemáticos, estatísticos e lógicos.

Uma **função local** computa um novo valor para uma localização de uma camada em função do valor originalmente associado àquela localização na mesma camada ou em camadas diferentes,

assim elas se subdividem em funções locais de valor singular, ou como no último caso, de múltiplos valores (Fig.11). Os operadores lógicos e matemáticos usados nas funções locais são arcosseno, arcotangente, arcocoseno, seno, coseno, tangente, união, interseção, variedade, moda, minoridade, proporção, máximo, mínimo, média, soma, diferença, multiplicação, razão e raiz.

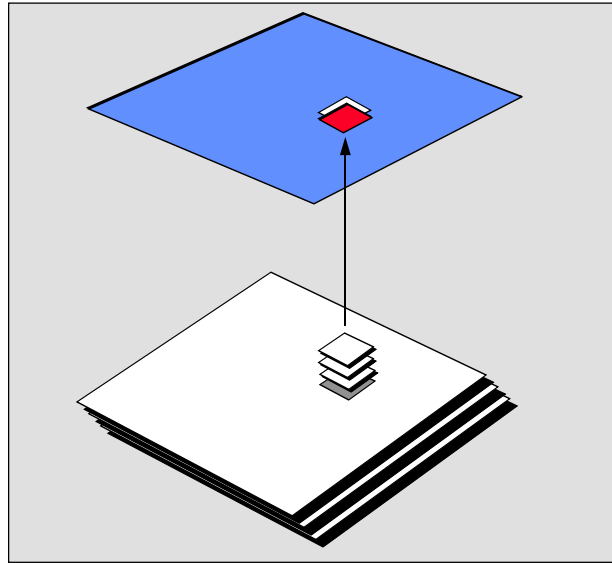


Fig. 11 - Função local de múltiplos valores.

Dentre dos operadores usados pelas funções locais, de principal importância encontram-se os operadores de álgebra booleana. Os principais são a interseção (*AND booleano*) e a união (*OR booleano*) (vide Fig. 12 e Tabela 1). O resultado da álgebra booleana em uma análise espacial é um outro objeto espacial (Fig.13). Exemplos: Encontre as áreas de vegetação “cerrado” que ocorrem sobre solos “latossolos”  $X = A \text{ and } B$ . Encontre as áreas que tenham vegetação “cerrado” ou que tenham solos “latossolos”  $X = A \text{ or } B$ .

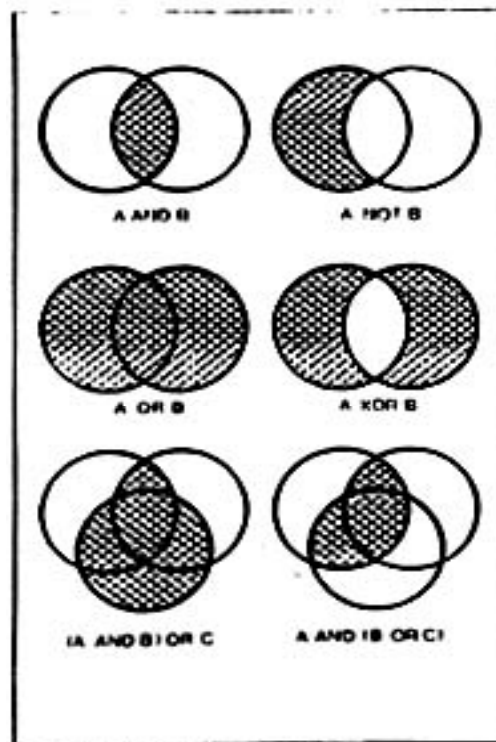


Fig. 12 – Diagrama de VENN usado na álgebra booleana  
Tabela 1

Resultado de operações booleanas: 1 – verdadeiro, 0 - falso

A	B	NOT A	A AND B	A OR B	A XOR B
1	1	0	1	1	0
1	0	0	0	1	1
0	1	1	0	1	1
0	0	1	0	0	0

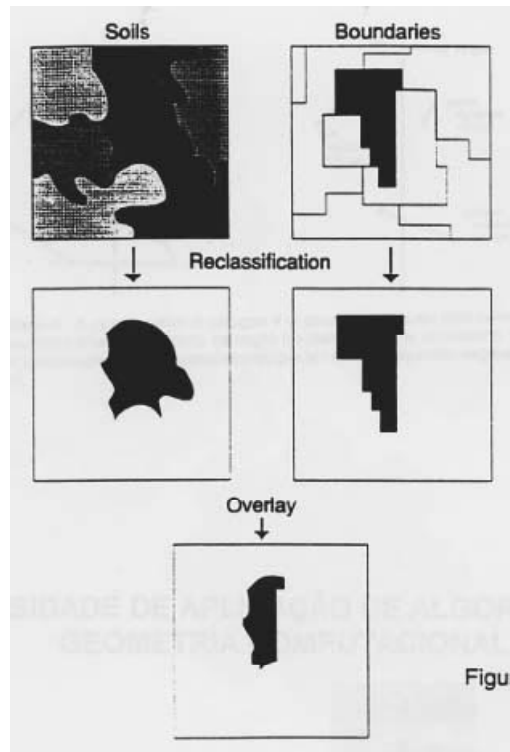
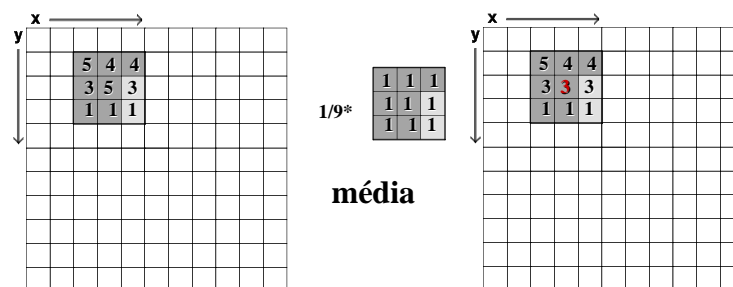


Fig. 13 – Fluxograma de uma interseção entre um tipo de solo e uma área municipal.

Funções focais e incrementais calculam um novo valor para cada localização em função de sua vizinhança, por isso são também conhecidas como contextuais. Estes grupos de funções correspondem ao conceito de filtros espaciais em processamento de imagens (Figs. 14 e 15). As funções focais podem utilizar uma vizinhança imediata ou englobar uma vizinhança estendida. Neste último caso, elas consideram parâmetros de distância, direção e ângulos de radiação (Fig. 16). As funções incrementais, são similares às focais, diferindo no sentido de caracterizarem incrementos de uma superfície (Tomlin,1990). Os operadores focais e incrementais são: variedade, moda, minoridade, máximo, mínimo, média aspecto, drenagem, frontagem, gradiente, conectividade, agrupamento, área e volume.



### Mapa raster

Fig. 14 – Exemplo de um operador *média* na forma de uma máscara de convolução 3\*3.

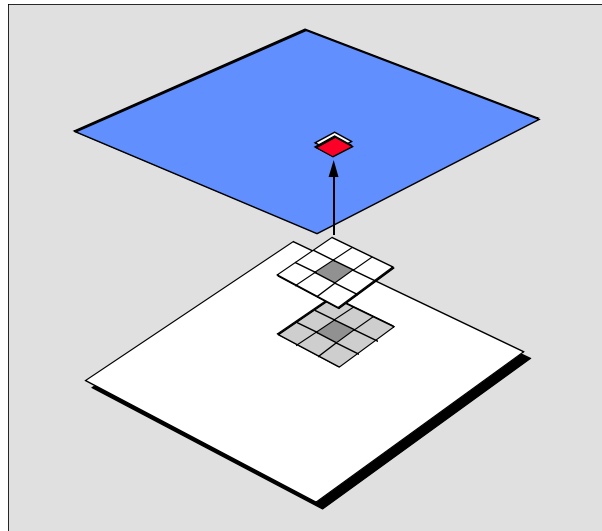


Fig. 14 – Função focal, também conhecida como contextual.

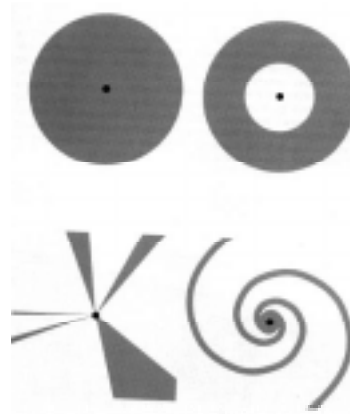


Fig. 15 - Tipos de vizinhanças, considerando parâmetros de distância, direção e ângulos de radiação.

O último tipo de função inclui aquelas que calculam um novo valor para uma localização em relação aos valores associados com uma zona contendo aquela localização (Fig. 16). Essas zonas atuam como se fossem vizinhanças estendidas com formas e extensões singulares. Estas funções se subdividem ainda em dois grandes grupos. O primeiro grupo processa a partir de zonas inteiras e o segundo apenas de elementos ou manchas de zonas. Os operadores zonais podem ser moda, máximo, média, mínimo, minoridade, percentagem, percentil, produto, proporção e variedade.

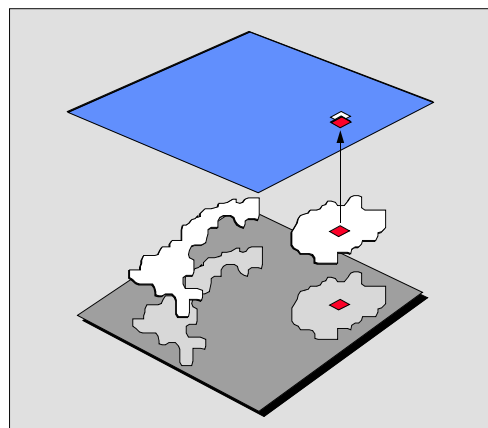


Fig. 16 - Função Zonal, envolvendo o cômputo de uma zona inteira.

A notação da linguagem de programação da álgebra cartográfica pode ser expressa em uma assertiva da seguinte forma genérica:

Nova Camada = Função(operador) da Camada Antiga de modo tal

Onde de modo tal pode ser, por exemplo, a uma certa distância ou direção, como no casos das funções focais e incrementais.

Sequências dessas assertivas são chamadas de procedimentos (Tomlin, 1990). Como na álgebra convencional elas podem ser combinadas e aplicadas em dados com um certo significado e com uma intenção deliberada, para modelar fenômenos geográficos complexos tais como erosão dos solo ou desenvolvimento potencial de uso do solo. Ainda, de acordo com este mesmo autor, a estrutura passo a passo e os componentes simples dessa linguagem de modelagem cartográfica faz com que seja possível expressar modelos muito complexos numa maneira clara e consistente.

Apesar de todo o processamento de dados ser baseado em unidades discretas, como as localizações, deve-se ressaltar que as análises espaciais envolvem não somente critérios atomísticos, como a posição geográfica, mas observam também as localizações dentro de um contexto espacial, ou seja as operações são realizadas em referência a uma certa vizinhança ou grupo de localizações, levando assim a uma abordagem holística no estudo das formas e textura cartográfica, (Tomlin, 1990).

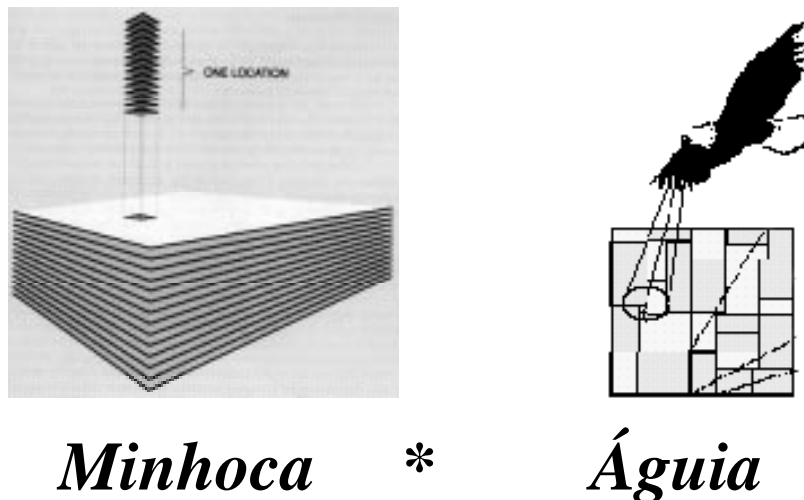


Fig. 17 – Comparação da abordagem atomística para holística através da analogia da visão de uma minhoca para uma águia. Enquanto uma perfura o modelo cartográfico a outra busca compreender os padrões texturais e as formas cartográficas.

## 6) Tipos de modelos

Uma variedade de modelos pode ser desenvolvida em um ambiente SIG para representar fatos e simular processos, expressar julgamentos ou fornecer uma descrição efetiva de um fenômeno geográfico. No início os modelos tendem a ser descritivos. Ou seja eles buscam descrever em termos geográficos “o que” ou “o que poderia ser” para numa segunda fase “o que deveria ser”, movendo assim para uma intenção mais prescritiva. Ainda podem desejar saber “o que poderá a vir a ser”, se tornando assim preditivos ou mesmo de simulação, haja vista que é através da replicação do funcionamento de um sistema por meio de um ambiente computacional que se fará a projeção do seus estados futuros.

Modelos descritivos respondem perguntas modelos prescritivos fornecem soluções ou recomendações. Mover da descrição para prescrição requer que o modelo descritivo seja

invertido. O seu correspondente prescritivo expressará uma faixa de potenciais modificações do sítio em função das condições existentes e dos objetivos pretendidos. Como exemplo, cita-se a determinação de potenciais tipos de uso/cobertura de solo para restringir a erosão a níveis aceitáveis  $\Rightarrow E < \text{Valor}$ . O modelo descritivo corresponde a  $\Rightarrow E = P*S*T*N$ , sendo o prescritivo  $\Rightarrow N = E/(P*S*T)$ . Onde E é a erosão, P a Pluviosidade, S o tipo de Solo, T a declividade topográfica e N o tipo de uso/cobertura do solo.

Já em um processo de simulação, é modelada a dinâmica do sistema, reproduzindo-se em ambientes computacionais, a complexidade de seu mecanismo de desenvolvimento e os processos de troca de materiais, formas de energia e espécies entre os elementos do sistema. Operar a simulação significa então testá-la frente às diferentes hipóteses, que se traduzem pela extensão do cenário atual ou pela introdução de cenários alternativos, abstraídos de variáveis exógenas tratadas, por exemplo, por modelos regionais. Às luz dessas possibilidades podem ser então cotejados as melhores normas e diferentes planos de manejo ambiental (Soares-Filho, 1998; Soares-Filho e Cerqueira, 1999).

### 7) Formulação e Implementação de Modelos

Um projetista gostaria desenvolver um SIG capaz de satisfazer um ilimitado número de questões a serem formuladas por um usuário, como nos exemplos a seguir:

#### QUESTÕES GERAIS:

- a) Onde está o objeto A?
- b) Quantas ocorrências de A são encontradas dentro de uma distância D de B?
- c) Qual é o valor da função Z na posição X, Y?
- d) Onde está A em relação a B?
- e) Qual é a área de B e o seu perímetro?
- f) Qual é o resultado da interseção de vários tipos de dados?
- g) Qual é o tempo ou distância entre X e Y?
- h) Reclassifique os objetos de tal região a partir de uma certa combinação de atributos?

#### QUESTÕES MAIS COMPLEXAS:

- Dado um conjunto de feições geológicas (mapa de estruturas, litologias, geoquímica, geofísica) encontre uma região favorável para a pesquisa de ouro, de acordo com um modelo metalogenético?
- Dado um conjunto de dados ambientais (relevo, hidrografia, vegetação), quais áreas deverão ser preservadas e quais poderão ser ocupados?
- Qual é a rota ótima para uma coleta de lixo urbano?
- Dada uma série de condições ambientais (solo, temperatura, pluviosidade, distâncias às estradas principais), qual é a melhor região para o plantio de determinada cultura?
- Use o banco de dados digitais como um modelo do mundo real para simular o efeito do processo P sobre um tempo T, dado um cenário?
- Quais fatores ambientais contribuem para difusão de uma determinada doença?
- Qual é o traçado que um projeto de uma rodovia deve priorizar, tendo em vista uma relação de custo e de preservação dos recursos ambientais e valores históricos?

- Qual é o impacto ambiental, que a implantação de um oleoduto poderá trazer para uma determinada região?
- .....?

Estas perguntas mostram as diversas (vastas) áreas de aplicação de um SIG. A solução para essas questões passa então pela utilização de um modelo apropriado, o qual será traduzido para uma linguagem de análise espacial que operará sobre uma base de dados específica.

Por conseguinte, para a solução dos modelos busca-se sintetizar informação da base de dados cartográficos sobre as qualidades de um determinado sítio geográfico, usando-se de algum tipo de critério ou julgamento.

Desse modo, a técnica de implementação de um modelo, quer seja seu tipo, pode ser decomposta nas fases de: 1) Formulação do problema. 2) Montagem da base de dados. 3) Listagem de critérios favoráveis e desfavoráveis para caracterização dos sítios geográficos de acordo com um propósito. 4) Hierarquização dos critérios, ponderação e quantificação. 5) Aplicação de uma ou mais seqüências combinadas de recuperação, transformação e combinação de mapas.

Por fim, a implementação de um modelo é materializada através de seqüência de operações entre mapas. Esta seqüência é descrita por meio de um fluxograma que mostra os tipos de dados originais, a ordem e o tipo de processamento. A implementação de um modelo cartográfico segue então uma estrutura em árvore, na qual as folhas são os dados disponíveis e a raiz a solução à questão (Fig. 18).

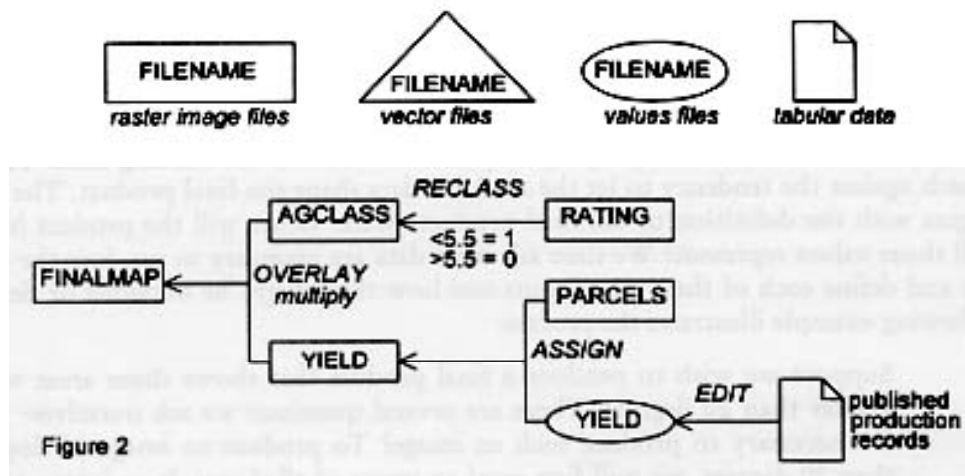


Fig. 18 – Tipos de dados originais e fluxograma de processamento de mapas.  
Fonte: Eastman, 99.

## 8) Técnicas de parametrização de modelos

Segundo Steyeart (1993), uma metodologia que reestrutura um sistema de equações na forma de uma grade matricial ou raster é conhecida como processo de discretização. Já a parametrização pode ser vista como um método para escalar processos de subgrade para o nível de resolução da grade. Os valores dos parâmetros especificados para um modelo são então obtidos por meio de técnicas de calibração. Na calibração, diversas técnicas podem ser usadas para estimar os valores dos parâmetros que produzem o melhor ajuste entre o modelo e os dados empíricos. Nos processos de parametrização e calibração, busca-se então descrever o modelo de ocorrência de um certo fenômeno, as variáveis espaciais envolvidas, suas forças e o modo em que são combinadas.

Nesse aspecto, Hopkins (1977) discorre sobre as diversas abordagens que podem ser usadas para

obtenção de mapas de padrões espaciais, formados pelos requerimentos preferenciais à ocorrência de um certo fenômeno ou aspecto geográfico. Segundo Hopkins (1977), o melhor procedimento para obtenção desses mapas, na maioria dos casos, consiste em se usar métodos de combinação linear e não linear em um primeiro estágio, para serem então seguidos, em uma segunda fase, por regras de combinação. Ou seja, num primeiro passo incorporam-se os relacionamentos entre os fatores, cujas relações matemáticas são conhecidas, e em seguida, combinam-se de modo hierárquico, outros fatores, que não podem ser expressos por relações matemáticas, através de uma ordenação de adequação, de acordo com um processo de regras de decisão, o qual pode ser derivado de um comportamento típico dos agentes do fenômeno, ou mesmo arbitrado por uma visão imposta pelos especialistas escolhidos para estudar a questão (Vide Soares-Filho et al. 1998).

Por suposto, esse método de seleção envolve dois modelos básicos de tratamento de dados. O primeiro desconsidera um conhecimento a priori do fenômeno, buscando extrair relações a partir do processamento de um substancial conjunto de dados, podendo, por isso, ser conhecido como abordagem maciça de dados ou dirigida aos dados (Bonham-Carter, 1994). O segundo tenta modelar os processos de tomadas de decisões a partir do estudo do comportamento dos agentes do fenômeno, sendo portanto conhecido como modelo dirigido ao conhecimento. Não obstante estas diferenças, ambos os casos necessitam de uma quantidade variada de dados para consubstanciá-los. De acordo com Bonham-Carter (1994), os meios de implementar estas abordagens podem se dar via modelos estatísticos, no primeiro caso, como no exemplo de técnicas de **regressão (multivariada e logística)**, métodos bayseanos como **peso de evidência**. Para a segunda abordagem, citam-se os exemplos de **árvores neurais de decisão** e **lógica fuzzy** (Fig. 19). Para uma introdução a estas técnicas, recomenda-se a leitura de Bonham-Carter (1994).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < 50 \\ \frac{x-50}{200} & 50 < x < 250 \\ 1 & x > 250 \end{cases}$$

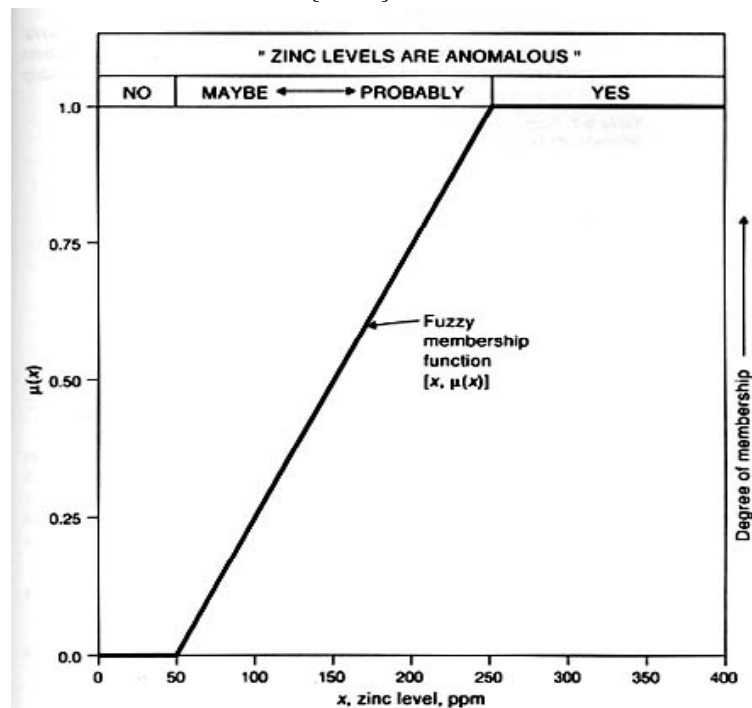


Fig. 19 – Esquema de aplicação de uma função *Fuzzy* para detecção de anomalia de Zinco.  $x$  representa os valores de zinco em ppm e  $\mu(x)$  é a probabilidade de se encontrar uma ocorrência. Fonte: Bonham-Carter (1994).



## 9) Referências Bibliográficas

- Berry, J. K. Cartographic modeling: the analytical capabilities of GIS. In: Goodchild, M; Parks, B. O.; Steyaert, L. T. Environmental modelling with GIS, New York, Oxford University Press, 488p, 1993.
- Berry, J. K.; Berry, J. K. Assessing Spatial Impacts of Land Use Plans. *Journal of Environmental Management*, v. 27, p. 1-9, 1988.
- Bonham-Carter, G. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. New York, Pergamon, 1994.
- Burrough, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford, Clarendon Press, 3<sup>o</sup> ed. 1991.
- Eastman, J. R. IDRISI USER'S GUIDE, Clark University, 1999.
- George, F. H. The use of models in science. In: Chorley, R. J.; Hagget, P. Models in Geography. London. Methuen e Co Ltd., 1971.
- Goodchild, M. F. The state of GIS for environmental problem-solving. In: Goodchild, M; Parks, B. O.; Steyaert, L. T. Environmental modelling with GIS, New York, Oxford University Press, 488p, 1993.
- Goodchild, M. Geographic data modelling. *Computer & Geosciences*, vol. 18, n. 4, pp. 401-408, 1992
- Haggett, P. Geography: a modern synthesis. 2.ed. New York, Harper & Row, 1972.
- Hopkins, L. Methods for generating land suitability maps: a comparative evaluation. *AIP Journal*, p.386-400, 1977.
- Mcharg, I. L. Design with Nature. New York, Doubleday/Natural History Press, 1969.
- Soares-Filho, B. S. Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de colonização amazônica. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP – São Paulo, Versão CD-ROM CSR, 1998. 299 p.
- Soares-Filho et al. Metodologia para elaboração do mapa do potencial erosivo da Bacia do Rio das Velhas. *GEONOMOS*, v. 5, p-34-56, 1998.
- Soares-Filho, B.S; Cerqueira, G.C. Geoprocessamento aplicado à avaliação ambiental de grandes empreendimentos: O uso de modelos de simulação computacional. VIII Simpósio de Geografia Física Aplicada, Anais do VIII Simpósio de Geografia Física Aplicada, SBGF, Belo Horizonte, MG, 24 a 31 de outubro de 1999, pp. 305-310.
- Tomlin, C. D. Geographic Information Systems and Cartographic Modelling. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1990. 249 pp.