

# **SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DE ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS**

*Helena Maria Ramos Alves<sup>1</sup>  
Tatiana Grossi Chquilloff Vieira<sup>2</sup>  
Helcio Andrade<sup>3</sup>*

**Resumo** – Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) desenvolveram-se como resultado da necessidade de armazenar e processar volumes cada vez maiores de dados sobre a Terra e solucionar questões ambientais cada vez mais complexas. O domínio de aplicações destes sistemas tem-se ampliado, acompanhando a evolução dos dispositivos de coleta de dados e das facilidades computacionais. O presente trabalho aborda a aplicação do SIG para a avaliação de impactos ambientais provenientes da atividade agropecuária. Após uma pequena introdução, o primeiro tópico explica de maneira simplificada o que é um SIG, esclarecendo alguns dos conceitos empregados nesta metodologia, lista seus componentes principais e mostra como estes sistemas são usados na criação de modelos computacionais do mundo real. O terceiro tópico mostra o que um SIG pode fazer, exemplificando alguns dos processos de análise espacial mais típicos em contrapondo com as dificuldades existentes. O quarto tópico aborda as aplicações do SIG relacionadas à análise ambiental, enfatizando o planejamento de microbacias hidrográficas e a avaliação da aptidão agrícola das terras. O quinto e último tópico antes da conclusão, alerta sobre aspectos de qualidade dos produtos gerados pelo SIG.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento, Sistemas de Informação Geográfica, Planejamento ambiental.

## **INTRODUÇÃO**

---

A observação e a representação da superfície terrestre são partes importantes na organização das sociedades. Vivemos em um mundo de natureza espacial, lidando diariamente com um complexo conjunto de interações espaciais e tomando regularmente, de maneira intuitiva, decisões que envolvem conceitos de distância, direção e localização relativa. No passado informações espaciais eram coletadas por guerreiros, navegadores e exploradores e representadas graficamente pelos antigos cartógrafos através de mapas. Na era moderna, a necessidade de armazenamento, análise e apresentação de um volume cada vez maior e mais complexo de observações

---

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, PhD., Pesq. EPAMIG-CTSM. Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras, MG.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agr, M.Sc., Pesq. EPAMIG-CTSM. Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras, MG.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, D.Sc., Prof. Titular UFPA, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG.

sobre o planeta levou à utilização de computadores para a manipulação destes dados e ao desenvolvimento de sistemas automatizados sofisticados, que são conhecidos como Sistemas de Informação Geográfica ou simplesmente SIG. Os primeiros SIGs foram desenvolvidos na década de 60 por agências governamentais, como resultado da necessidade premente de lidar com questões ambientais complexas. Um dos pioneiros foi o Sistema de Informação Geográfica do Canadá (CGIS), idealizado para processar a imensa quantidade de dados criados pelo inventário de terras daquele país. Atualmente os SIGs são o resultado de mais de três décadas de evolução e inúmeras inovações tecnológicas têm favorecido sua popularização. Estão se tornando essenciais para a análise e transferência de conhecimentos sobre o mundo e no presente momento, é difícil encontrar um órgão de mapeamento ou gerenciamento de recursos naturais que opere sem um SIG ou que não esteja contemplando a implantação de um destes sistemas (Burrough, 1986; Calijuri, 1995).

## MAS O QUE É UM SIG?

---

### Definindo SIG

Tem havido tantas tentativas de se definir o que é um SIG, que fica difícil escolher uma única definição. Isto deve-se em parte ao fato de que estas definições são influenciadas pela formação de seus autores e reflete a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia, bem como a perspectiva interdisciplinar de sua utilização. Algumas são concisas porém mais superficiais, como por exemplo a de Rhind (1989): “*um SIG é um sistema computacional para armazenar e usar dados que descrevem lugares na superfície terrestre*”. Outras, mais completas, como a de Burrough (1986): “*um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e mostrar dados espaciais sobre o mundo real para um conjunto particular de objetivos*”, dão uma melhor idéia do que é um SIG, bem como do que ele pode fazer. Apesar das diferenças é possível observar as definições evidenciam três componentes principais. Elas revelam que os SIGs:

- *são sistemas automatizados: ou seja, operados por computadores. Isto implica hardware (que inclui os componentes do próprio computador bem como seus periféricos tais como plotadoras, impressoras, scanners, etc),*

software (que são os programas e aplicativos que operam estas máquinas), e procedimentos apropriados (ou seja, técnicas e métodos para implementar as tarefas desejadas);

- foram desenhados para usar dados espaciais: também designados como dados geográficos;
- podem realizar várias operações de manipulação e análise nestes dados.

Neste ponto é preciso fazer-se uma diferenciação entre dado e informação, apesar destes termos serem muitas vezes usados como sinônimos. Dados são observações que fazemos ao monitorar o mundo real. São coletados como fatos ou evidências, que podem ser processados para adquirirem significado e desta forma tornarem-se informação. É mais fácil se pensarmos sobre os mesmos como números listados em uma tabela. Para entender e analisar a tabela é necessário saber a que se referem e em que escala ou unidade de medida foram coletados e expressos. Com estes detalhes tornam-se informação, ou seja, dados com significado e contexto adicionados (Hanold, 1972).

Dados espaciais são os que descrevem fenômenos aos quais está associada alguma dimensão espacial. O SIG utiliza uma classe particular de dados espaciais: os dados georreferenciados ou geográficos, que são aqueles que descrevem fatos, objetos e fenômenos do globo terrestre associados à sua localização sobre a superfície terrestre, num certo instante ou período de tempo, ou seja, possuem três dimensões: temporal, temática e espacial. A característica temporal indica quando foram coletados. Características temáticas são normalmente referidas como atributos e são características associadas aos elementos espaciais para fornecer informação adicional sobre os mesmos. A localização geográfica por outro lado é uma característica inerente à informação e indispensável para sua análise.

Para serem usados pelo SIG, os dados precisam de uma referência espacial matemática. Um objeto geográfico qualquer (como rio ou uma montanha) somente poderá ser localizado se puder ser descrito em relação a outros objetos cujas posições sejam previamente conhecidas, ou se tiver sua localização determinada em uma rede coerente de coordenadas. Existem vários sistemas de referenciamento, mas estes podem ser divididos em dois

grandes grupos (Heywood *et al*, 1998): i) *sistemas de coordenadas geográficas ou terrestres*, no qual cada ponto da superfície terrestre é localizado na interseção de um paralelo com um meridiano, sendo sua representação dada por um valor de latitude e longitude; ii) *sistema de coordenadas planas ou cartesianas*, que baseia-se em um conjunto de linhas eqüidistantes e retangulares, que formam uma grade ou quadrícula sobre o qual o fenômeno geográfico é determinado e graficamente representado. É também necessário um sistema de projeção cartográfica, que pode ser entendido como um método de transformação de dados sobre a superfície da terra para a superfície plana de um mapa. O referenciamento é imprescindível e deve ser considerado previamente na elaboração de qualquer projeto, pois a escolha de um sistema inadequado de referenciamento pode comprometer usos futuros do SIG (Ananoff, 1989; Câmara *et al.*, 1996).

Existe uma grande variedade de fontes de dados espaciais mas estes podem ser enquadrados em primários e secundários. Dados primários são inéditos, ou seja, aqueles coletados diretamente pelo próprio indivíduo para o projeto em questão e são normalmente resultantes de levantamentos de campo. Dados secundários são aqueles que foram coletados por alguma outra pessoa ou organização e que estão normalmente publicados como mapas, dados censitários e de sensoriamento remoto, como fotografias aéreas e imagens de satélite.

Todas as fontes de dados espaciais, incluindo os mapas, são normalmente menores que a realidade que eles representam. Sendo assim, a escala é informação obrigatória, pois ela é a razão entre a distância no mapa e a distância correspondente no terreno. A escala de 1 para 50.000 (notação 1:50.000 ou  $1/50.000$ ), por exemplo, indica que uma unidade de medida no mapa eqüivale a 50.000 unidades da mesma medida sobre o terreno. Ou seja, 1 cm no mapa corresponde a 50.000 cm ou 500 m no terreno. Como são geralmente representadas por uma fração, uma escala 1:100.000 é menor que uma escala de 1:20.000.

Recapitulando, a **informação geográfica** é compreendida como sendo um dado ou conjunto de dados representativos de fenômenos físicos ou sociais, os quais possuem uma relação direta de localização com um ponto ou porção da superfície terrestre e estão inseridos em um contexto particular. Um

**Sistema de Informação Geográfica** pode então ser definido como um conjunto organizado de equipamentos de computação, programas aplicativos e dados georreferenciados, projetado para capturar, armazenar, manipular, analisar e apresentar visualmente todas as formas de informações geográficas, para um objetivo ou aplicação específica. Deste modo, o SIG é um **sistema** usado para agregar valor a **dados espaciais**. Ao permitir que os dados sejam organizados e consultados eficientemente, que sejam integrados com outros conjuntos, que sejam analisados e que sejam criados novos dados que por sua vez possam ser reutilizados pelo sistema, o SIG cria **informação** de grande utilidade para planejadores e tomadores de decisão, podendo ser empregados no planejamento da conservação ambiental, para indicar as várias alternativas existentes conforme ilustrado na Figura 1.

### Componentes de um SIG

Existe talvez tanto debate sobre os componentes de um SIG quanto sobre a sua definição. Alguns autores enfatizam a importância de um elemento em detrimento de outro e, normalmente, os componentes **equipamento**, **software** e **banco de dados** são mais mencionados que **pessoal** e **instituição**. Na prática todos os elementos são igualmente importantes, pois nenhum SIG existe fora de um contexto organizacional, onde haja pessoas capacitadas a planejar, implementar e operar o sistema, bem como tomar decisões com os resultados obtidos.

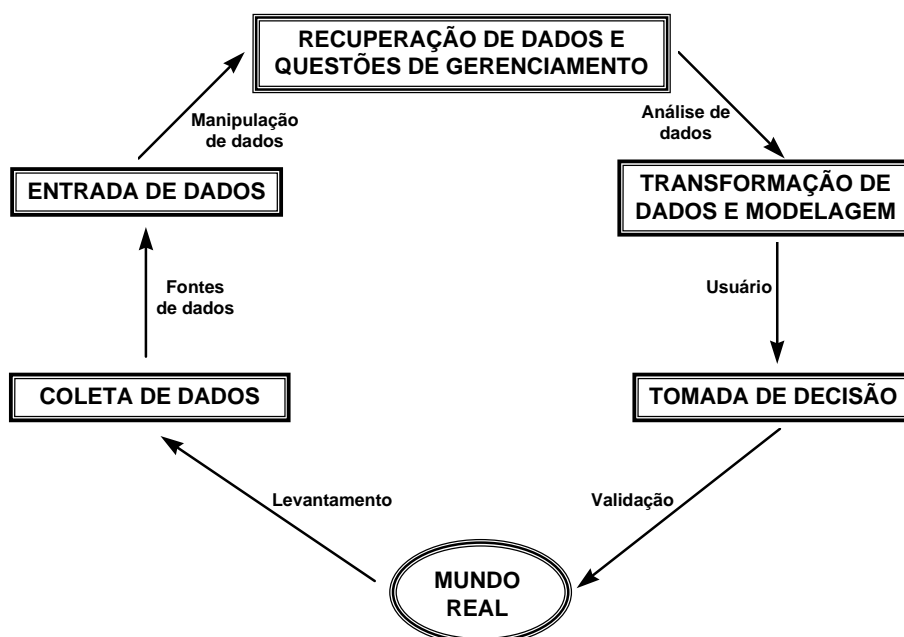
Os principais componentes de hardware estão na Figura 2. Com relação aos equipamentos, Burrough (1986) lista os elementos essenciais para uma operação eficiente:

- ◆ *Presença de um processador com capacidade suficiente para rodar o programa*
- ◆ *Memória suficiente para armazenamento de grande volumes de dados*
- ◆ *Monitor gráfico colorido de boa qualidade e alta resolução*
- ◆ *Periféricos para aquisição, entrada e saída de dados (mesas digitalizadoras, scanners, impressoras, plotadoras etc)*

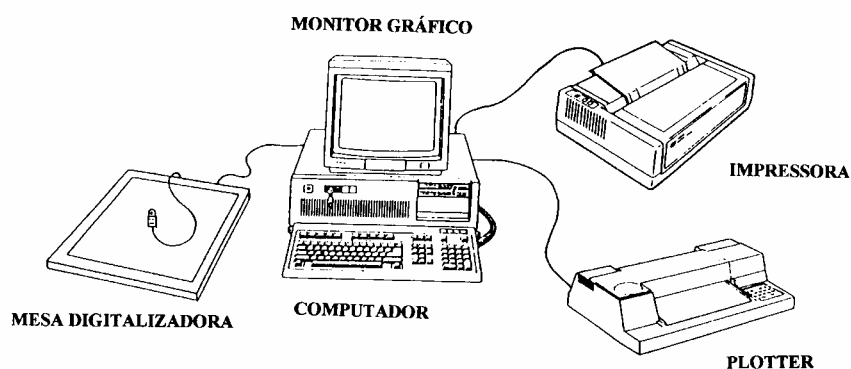
O software é geralmente composto pelos seguintes módulos básicos representados na Figura 3 (Valenzuela, 1991):

- ♦ *um subsistema para entrada e verificação de dados;*
- ♦ *um subsistema de armazenamento e recuperação de dados espaciais numa forma que possibilita um acesso eficiente aos dados;*
- ♦ *um subsistema de manipulação e transformação, que permita analisar e gerar dados derivados;*
- ♦ *um subsistema para apresentação dos dados tanto na forma tabular como gráfica.*

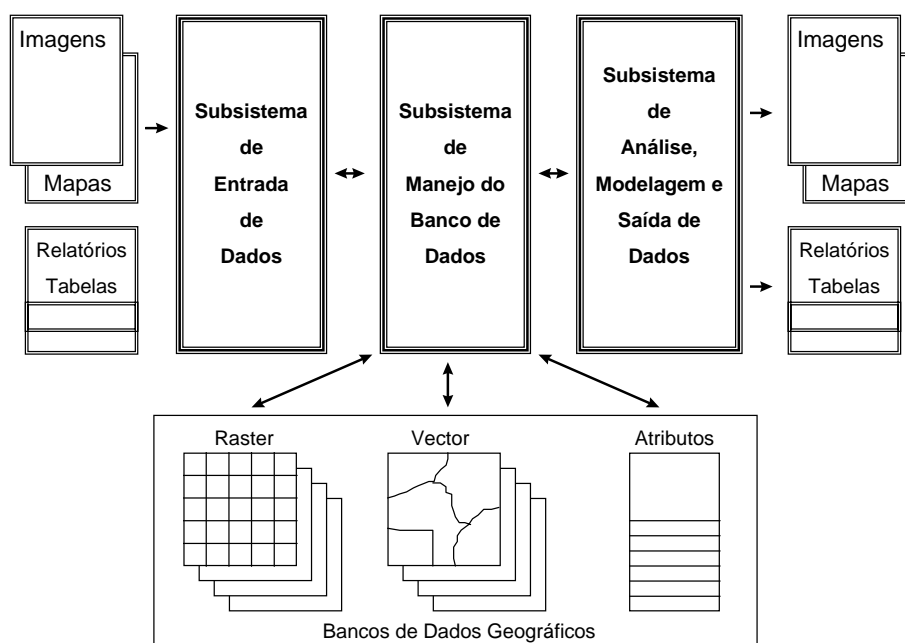
No centro de qualquer discussão contudo, devem estar a natureza dos dados utilizados e a atenção dispensada ao armazenamento, processamento e interpretação dos mesmos. Isto porque a entrada e manejo de dados, bem como sua atualização, são freqüentemente, os componentes mais caros e que consomem maior tempo em qualquer projeto de geoprocessamento (aproximadamente 80% da duração de qualquer projeto em larga escala). Aranoff (1989) estima que a construção de um grande banco de dados geográficos custa entre 5 a 10 vezes mais que o custo do software e dos equipamentos. É igualmente importante lembrar que a qualidade das representações do mundo real criadas pelas técnicas de geoprocessamento são diretamente dependentes da qualidade dos dados disponíveis.



**Figura 1.** Sistemas de Informações Geográficas como ferramenta para o planejamento (Valenzuela, 1991).



**Figura 2.** Hardware necessário para a operacionalização de SIG desenvolvido para PC (Weir1991).



**Figura 3.** Representação esquemática de um SIG (Valenzuela, 1991).

## Representações Computacionais da Realidade

Os SIGs criam representações computacionais de aspectos do mundo real. Constituem uma visão simplificada, composta por dados e idéias de como elementos do mundo real interagem, sendo, portanto, modelos da realidade. Estes modelos simplificados contêm apenas os aspectos que o projetista considera importantes para resolver determinado problema e seu objetivo é melhorar a nossa compreensão dos problemas geográficos.

De acordo com Heywood *et al.* (1998), o processo de simular a realidade por meio do SIG envolve:

- ✓ *Identificar os elementos espaciais do mundo real que são de interesse no contexto da aplicação desejada e escolher como representá-los no modelo conceptual*
- ✓ *Representar o modelo conceptual por um modelo apropriado de dados espaciais.*
- ✓ *Escolher uma estrutura apropriada de dados para armazenar o modelo no computador.*

Vê-se, portanto, que nesta estratégia de modelagem, quatro níveis de abstração podem ser identificados (Câmara *et al.*, 1996):

- **Nível do mundo real:** contém os elementos a serem modelados como por exemplo rios, solos, declividade, rede viária, etc.
- **Nível conceptual:** neste nível determinam-se as classes básicas que deverão ser criadas no banco de dados, definem-se as operações e a linguagem de manipulação disponíveis para o usuário.
- **Nível de representação:** associa as classes identificadas no nível conceptual a classes de representações. Deve-se escolher entre uma representação vetorial ou matricial, o que é muitas vezes ditado pelo software.
- **Nível de implementação (físico ou interno):** definem-se padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para implementar as diferentes representações.

No contexto do SIG, o mundo real é freqüentemente modelado segundo duas visões complementares: o modelo de campos (*field model*) e o modelo de objetos (*object model*). O primeiro, ainda o mais utilizado pela maioria dos SIGs, enxerga o mundo como uma superfície contínua, sobre a qual os fenômenos geográficos variam. Esta visão enfatiza a descrição da variação do fenômeno geográfico sem se preocupar com a identificação de entidades independentes. Já o modelo de objetos representa o mundo como uma superfície ocupada por objetos discretos e identificáveis, com geometria e características próprias (Câmara *et al.*, 1996). A dicotomia de modelagem de campos ou objetos se reflete, no nível de representação, no chamado debate *raster versus vector*. Campos são freqüentemente representados no formato



raster, ou seja, em uma matriz cujos elementos são unidades regulares do espaço (células). Já um objeto geográfico é tipicamente representado no formato vetorial.

Os dados espaciais precisam ser simplificados antes de serem armazenados no computador. Uma forma comum de se fazer esta simplificação é representar estes elementos através de três entidades básicas: pontos, linhas e áreas. Cada uma destas entidades espaciais básicas é um modelo bidimensional, que pode ser utilizado para representar elementos reais e foram desenvolvidos pelos cartógrafos como forma de representar elementos tridimensionais nas duas dimensões de uma folha de papel. Além destes três símbolos básicos, os SIGs utilizam duas outras formas de representação: a superfície e a rede.

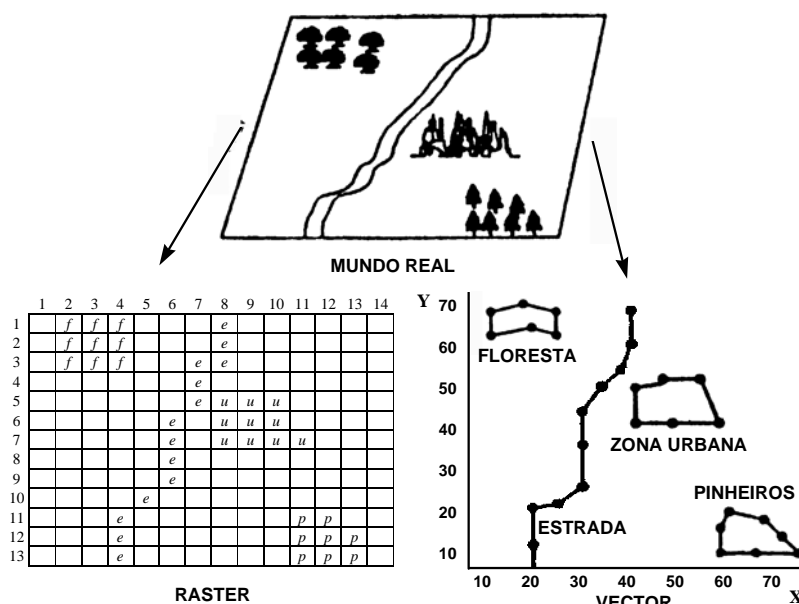
Superfícies são utilizadas para representar fenômenos que variam de forma contínua no espaço. O termo modelo numérico de terreno (ou MNT) é utilizado para denotar a representação destas grandezas. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar outros parâmetros como teor de minerais ou propriedades do solo. As representações computacionais de mapas topográficos são denominados de Modelo Digital de Terreno - DTM (*Digital Terrain Model*), ou de Modelo de Elevação Digital - DEM (*Digital Elevation Model*). Esta representação pode ser feita através de grades retangulares, a partir das quais são geradas as matrizes de altitude, ou através de grades triangulares, também conhecidas como TIN (*Triangulated Irregular Network*), que são estruturas de dados vetoriais.

Uma rede, por outro lado, é uma série de linhas interconectadas ao longo das qual existe um fluxo de dados, objetos ou materiais. O conceito de rede refere-se geralmente às informações associadas a serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone, ou relativas a bacias hidrográficas e rodovias. Operações típicas sobre rede são cálculo de caminho ótimo.

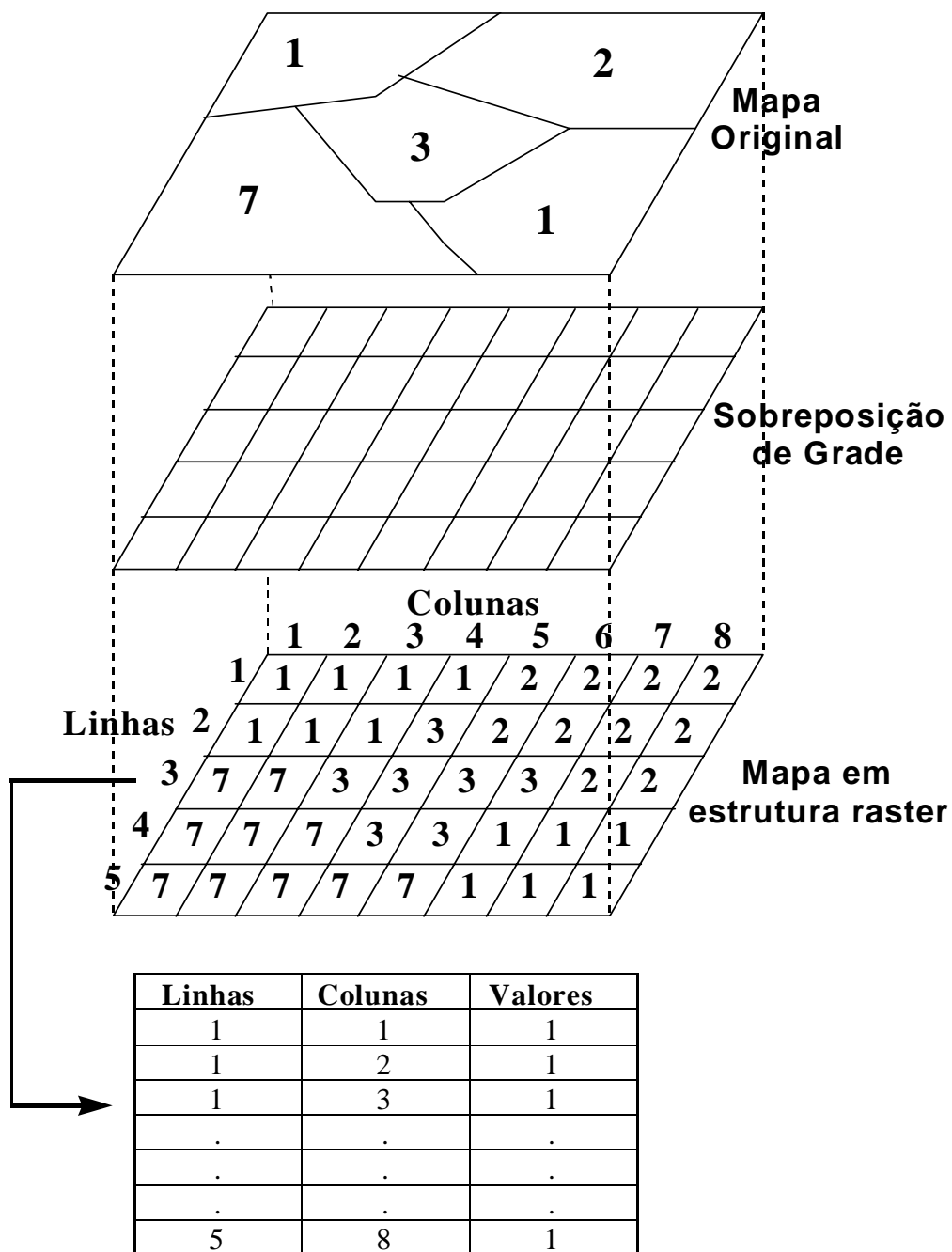
### **Representação matricial vs vetorial**

Conforme dito anteriormente, existem dois modos básicos de representação de dados geográficos no interior de um computador: o matricial ou varredura (*raster* ou *grid cells*) e o vetorial, representados na Figura 4.

A forma matricial (Figura 5) consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento a ser representado. Células individuais são usadas como elemento estrutural para a representação de pontos, linhas, polígonos, redes e superfícies. Desta forma, um ponto é representado por uma única célula, uma linha é um conjunto de células vizinhas arranjadas numa determinada direção e uma área é um aglomerado de células. Vê-se, portanto, que o tamanho da grade é muito importante e influencia o modo como o elemento aparece. Como não podem haver dois valores distintos para uma mesma célula, atributos diferentes são armazenados em arquivos separados. Operações típicas neste tipo de representação são a sobreposição de matrizes, combinando os valores das células através de funções matemáticas, e a generalização, que é a abstração de conjuntos de várias células adjacentes em uma única célula, cujo valor é calculado a partir dos valores das células selecionadas.



**Figura 4.** Representação de dados nos modelos vetorial e matricial (modificado de Aranoff, 1988, citado por Valenzuela, 1991).



**Figura 5.** Estrutura do modelo raster (modificado de Dangermond, 1982, citado por Valenzuela, 1991).

De acordo com Valenzuela (1991) as principais vantagens do modelo *raster* são:

- *estrutura de dados simples;*
- *overlay e combinação de mapas e dados de sensoriamento remoto fácil;*
- *possibilidade de fazer facilmente vários tipos de análise espacial;*
- *simulação facilitada já que cada unidade espacial tem a mesma forma e tamanho.*

Entre as desvantagens pode-se citar:

- *volume de dados gráficos muito grande;*
- *erros na estimativa de perímetros e áreas;*
- *ligações em rede difíceis de estabelecer;*
- *aumento de tamanho da célula (grade) para reduzir o volume de dados pode ocasionar perda de precisão;*
- *mapas produzidos menos precisos e visualmente piores.*

No formato vetorial, a representação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível. A linha é utilizada como unidade lógica básica. Pontos são gravados como linhas de comprimento zero, áreas ou polígonos constituem linhas com os pontos inicial e final coincidentes. A posição de cada objeto é definida pela sua localização em um espaço do mapa, organizado por um sistema de coordenadas cartesianas. Além das coordenadas, outros dados não-espaciais (atributos) devem ser arquivados para indicar de que tipo de ponto, linha ou polígono se está tratando e também das ligações entre estes, a fim de que a rede de linhas possa ser reconstituída pelo computador. Estas conexões baseiam-se no uso de pontos a que se dá o nome de nó, o qual pode ser definido como o ponto de interseção entre duas ou mais linhas. As Figuras 6 e 7 mostram de forma simplificada, exemplos do modelo vetorial e da estrutura topológica que é gerada para um mapa neste formato. Operações comuns neste tipo de representação são operações topológicas (por exemplo adjacência, inclusão) e métricas (distância, área).

O modelo vetorial também apresenta vantagens e desvantagens, algumas das quais são listadas abaixo (Valenzuela, 1991):

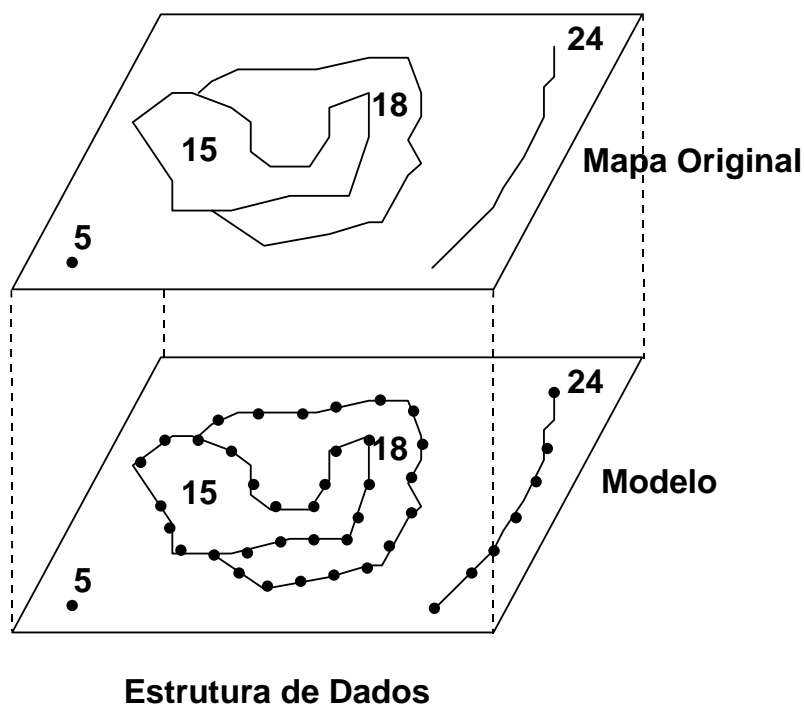
#### **Vantagens**

- *estrutura de dados compacta;*
- *exatidão gráfica;*

- possibilidade de resgate, atualização e generalização gráfica e de atributos;
- largamente utilizada na descrição de zonas administrativas.

### Desvantagens

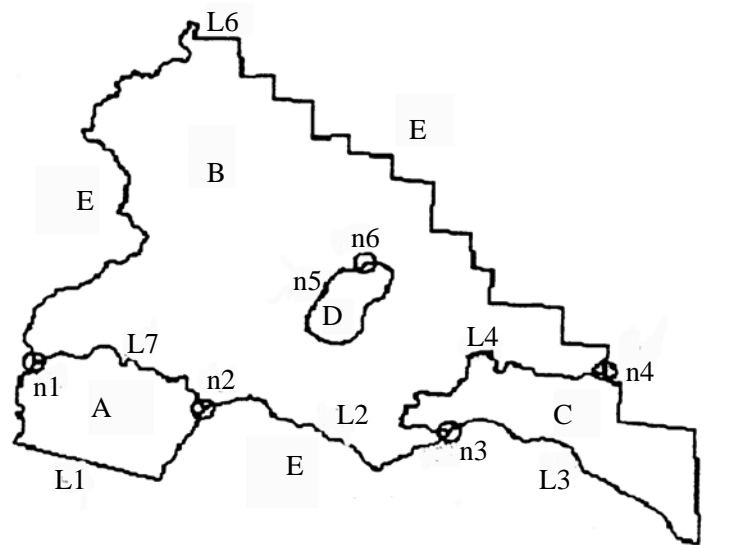
- estrutura de dados complexa
- tecnologia mais cara;
- simulação dificultada em virtude da estrutura topológica;
- dificuldade no “overlay” de vários mapas ou de mapas vetoriais e rasterizados;



**Estrutura de Dados**

Entidade	Número	Localização
Pontos	5	$X, Y$
Linha	24	$X_1Y_1, X_2Y_2, X_3Y_3, \dots, X_nY_n$
Polígono	15	$X_1Y_1, X_2Y_2, X_3Y_3, \dots, X_nY_n$
	18	$X_1Y_1, X_2Y_2, X_3Y_3, \dots, X_nY_n$

Figura 6. Modelo vetorial (modificado de Dangermond, 1982, citado por Valenzuela, 1991).



TOPOLOGIA DOS NÓS		TOPOLOGIA DAS LINHAS					TOPOLOGIA DOS POLÍGONOS	
NÓ	LINHAS	LINHAS	NÓ INICIAL	NÓ FINAL	POLÍGONO ESQUERDO	POLÍGONO DIREITO	LINHAS	POLÍGONO
n1	L1, L7, L6	L1	n1	n2	E	B	L1, L7	A
n2	L1, L2, L7	L2	n2	n3	E	B	L2, L4, L6, L7	B
n3	L2, L3, L4	L3	n3	n4	E	C	L4, L3	C
n4	L3, L4, L6	L4	n3	n4	B	C	L5	D
n5	L5	L5	n5	n5	B	D		
		L6	n4	n1	B	E		
		L7	n1	n2	A	B		

Figura 7. Estrutura topológica (Medeiros & Tomas, 1994).

## O QUE UM SIG PODE FAZER?

Os SIGs foram desenhados para responder determinados tipos de perguntas, que incluem questões sobre localização, padrões, tendências e condições. Considerar estas perguntas nos ajuda a entender para que eles servem:

- Onde se encontram as áreas agricultáveis de uma determinada região?
- Onde deveriam ser implantadas áreas de preservação ambiental?
- Quais seriam as implicações ambientais caso uma determinada decisão fosse tomada?

Como se vê, não existe nada de novo nestas perguntas. Contudo, muitas vezes respostas não podiam ser encontradas em função do grande volume de dados, do tempo necessário para sua obtenção/processamento ou mesmo da inexistência de técnicas para processamento destes dados. É neste ponto que os SIGs nos ajudam. De acordo com Câmara *et al.* (1996), as consultas em SIG são geralmente compostas ao longo de três eixos: *onde*, *o quê* e *quando*. **Onde** se refere a características espaciais, enquanto **o quê** se refere às características não espaciais ou temáticas. Cada consulta fixa ao menos um dos eixos e faz variar os dados ao longo dos outros dois. Na maior parte dos casos a dimensão temporal é fixa, ou seja, os usuários delimitam o conjunto de dados em relação a um determinado intervalo de tempo, como por exemplo:

- **Quando + o quê • onde:** descreve uma localização (*onde*) ocupada por um ou vários fenômenos geográficos (*o que*) em um dado intervalo de tempo (*quando*). Por exemplo: *Quais as áreas do Estado de Minas Gerais implantadas com café durante o Plano de Renovação da Cafeicultura na década de 70?*

Alguns exemplos dos processos de análise espacial típicos de um SIG estão apresentados no Quadro 1, adaptado de Câmara *et al.* (1996):

Quadro 1: Exemplos de análises espaciais executadas pelo SIG

Análise	Pergunta geral	Exemplo
Condição	O que está...?	Quais os tipo de solo encontrados nesta microbacia?
Localização	Onde está...?	Quais as áreas com declividade acima de 25%?
Tendência	O que mudou...?	Quais os níveis de produtividade dos últimos 10 anos?
Roteamento	Por onde ir...?	Qual é o melhor caminho para construir uma estrada?
Padrões	Qual o padrão...?	Qual é a distribuição de solos mecanizáveis?
Modelos	O que sucede caso...?	Qual seria o impacto da mudança do uso da terra?

O grande apelo do SIG é que ele pode ser empregado como um sistema de suporte à decisão, ou seja, um programa que nos auxilia tomar decisões. Reunir pessoas para buscar a solução para um problema comum é geralmente

difícil. Técnicos de formação distinta têm concepções diferentes sobre o mesmo problema. Desta forma, para uma mesma situação, um ecologista pode recomendar uma estratégia, um engenheiro, uma segunda e um economista, uma terceira. Por meio do SIG mapas e modelos simulados da realidade podem ser usados para auxiliar especialistas com diferentes formações a trocar idéias, comparar diferentes cenários e possíveis soluções.

Existem, contudo, alguns problemas associados ao uso do SIG como ferramenta no processo de tomada de decisão que precisam ser equacionados (Heywood *et al.*, 1995 citados por Heywood *et al.*, 1998):

- *Softwares distintos produzem muitas vezes resultados diferentes:* isto se deve ao fato de que SIGs diferentes podem implementar as mesmas tarefas de formas distintas. Existem também diferenças ocasionadas pelos diferentes formatos de armazenamento dos dados nos programas.
- *Dificuldade em definir os critérios para tomada de decisões:* definir claramente o problema e identificar todos os critérios relevantes são passos cruciais na elaboração de um projeto em SIG. Os resultados que você vai obter serão influenciados pelas perguntas que você fizer. Se você não faz as perguntas certas não irá obter as respostas desejadas.
- *Restrições humanas no processo de tomada de decisão:* fatores humanos tais como discernimento, percepção do problema e treinamento também influenciam na efetividade do uso do SIG como sistema de suporte à tomada de decisão, visto que eles auxiliarão na formulação de questões apropriadas.

## **APLICAÇÕES DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

---

O domínio de aplicações em SIG está se ampliando cada vez mais, acompanhando a evolução dos dispositivos de coleta de dados e as facilidades computacionais em geral. De acordo com Silva & Carvalho Filho (1995), os procedimentos em que o SIG é utilizado podem ser agrupados em procedimentos referentes ao diagnóstico de situações existentes e de possível ocorrência e os procedimentos de prognose, nos quais são feitas previsões. No primeiro são realizados os levantamentos ou inventários ambientais, que são modelos digitais do ambiente onde transformações dirigidas podem ser



executadas. Uma vez conhecida a dimensão física do fenômeno é preciso obter informações sobre sua evolução ou variação no tempo, o que é feito através do monitoramento ambiental. Usando registros de ocorrências passadas é possível melhorar nossa compreensão sobre a evolução do fenômeno ambiental e utilizar este conhecimento na previsão de possíveis ocorrências futuras. As avaliações podem gerar dois tipos de mapeamentos: de risco e potencial ambiental. Os mapas de risco mostram as limitações do ambiente a uma ação interveniente, que pode ser antrópica ou natural. Um bom exemplo são os mapas de risco de erosão de solos. O potencial identifica a extensão e possível expansão territorial de um processo ambiental. Incongruências no uso dos recursos ambientais disponíveis bem como oportunidades econômicas podem ser reveladas pelo confronto de mapeamentos de uso da terra com mapas de avaliação de um potencial. É o caso do cruzamento de um mapa de aptidão agrícola ou potencial turístico de uma região com o mapa que mostre o uso atual desta área. É possível também fazer-se o confronto entre diferentes potenciais ou potenciais conflitantes. Um bom exemplo é o cruzamento de mapas de potencial de urbanização com mapas de potencial de uso agrícola. Este conflito tem causado o desaparecimento dos cinturões-verdes em torno de grandes núcleos urbanos pelo crescimento de loteamentos de caráter especulativo. Outros exemplos citados pelos referidos autores são os conflitos entre potencial turístico e necessidade de proteção ambiental ou potencial agrário de uma área que esteja submetida à legislação de proteção ambiental. Invasões de parques nacionais para criação de gado e atividades agrícolas são fatos comuns. A delimitação e a fiscalização destas ocorrências depende de mapeamentos que indiquem, por confronto, quais os locais em que o potencial agrário atrai ocupação econômica e prejudica as necessidades de proteção.

SIGs também são usados no mapeamento e catalogação de perfis de solo e no uso destas informações para a implementação de sistemas de informação de solos, que podem ser utilizados em estudos regionais e locais voltados para a propriedade agrícola ou para a elaboração de grandes bancos de dados ambientais. Além do sistema pioneiro do Canadá, um outro bom exemplo é o programa CORINE, que envolve 12 países da Comunidade Européia e tem como objetivo desenvolver um banco de dados ambiental em

escala continental. Sua criação foi uma reação aos problemas de chuvas ácidas, conservação da natureza e conflitos relativos ao uso da terra na Europa. Os trabalhos descritos a seguir são exemplos que ilustram algumas das aplicações do SIG envolvendo problemas ambientais e a atividade agrícola.

### **Uso dos SIGs no planejamento de microbacias hidrográficas**

O gerenciamento de recursos agrícolas é uma área de destaque para os SIGs. Assad *et al.* (1993) apresenta inúmeros exemplos de aplicações na agricultura, tais como o zoneamento agrícola e a identificação de épocas de estiagem. Os autores também descrevem o uso do SIG no planejamento de microbacias hidrográficas, considerada pelos mesmos como a unidade geográfica ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais.

A primeira etapa do trabalho é o diagnóstico da microbacia, obtido através das caracterizações fisiográfica e sócio-econômica. No exemplo descrito, a área de estudo selecionada foi a microbacia do córrego Taquara, situada na porção NE do Distrito Federal, com uma área de aproximadamente 4.350 ha, grande concentração de pequenos produtores, significativa produção de alimentos básicos e problemas de erosão e outras formas de degradação ambiental. A caracterização fisiográfica foi feita utilizando-se o SIG, neste caso o SGI/SITIM do INPE. Os mapas de solos, de declividade, de uso da terra e de vegetação nativa, na escala de 1:20.000, foram os dados originais da microbacia armazenados no sistema SGI. Estas cartas constituíram os planos de informações (Pis) originais do projeto.

Comparando a área ocupada pela vegetação nativa, antes da utilização agrícola da área, com a situação atual, os autores observaram que 75% da microbacia foi completamente devastada e ocupada principalmente por lavouras e pastagens, o que pode ameaçar a manutenção dos recursos naturais. O estudo mostrou que cerca de 58% da Mata de Galeria, considerada como cinturão de proteção dos mananciais hídricos, sofreu desmatamento, devendo, segundo os autores, ser a primeira área a ser recuperada no menor prazo possível. Caso a recuperação não seja feita, espera-se como impacto, o

assoreamento do córrego e, a médio prazo, redução da oferta de água para abastecimento e irrigação da microbacia.

Os outros três mapas, solos, uso atual e declividade, foram cruzados pelo programa para a obtenção do mapa de meio físico da microbacia. Realizar este mesmo cruzamento manualmente seria muito complexo. Com o auxílio do programa isto pode ser realizado automaticamente, num tempo muito menor que o demandado por métodos tradicionais de análise e com a obtenção de um produto final de maior precisão. Na realidade, o overlay ou cruzamento de diferentes planos de informação, ilustrado na Figura 8, constitui uma das ferramentas mais vantajosas dos sistemas de informações geográficas.

Com o objetivo de evitar a criação de um número muito grande de classes do meio físico, algumas classes dos mapas originais dos três planos de informação foram agrupadas. Este agrupamento foi feito levando-se em consideração a semelhança das propriedades físico-químicas das classes envolvidas, ou seja, somente aquelas áreas que a princípio teriam o mesmo tipo de manejo e conservação de solo e água foram agrupadas. Foram discriminadas, para toda a microbacia, 103 unidades de mapeamento. Algumas das classes teoricamente previstas não ocorreram de fato na microbacia. Por exemplo, é difícil imaginar a prática de uma lavoura numa declividade superior a 18% e num solo do tipo Areia Quartzosa. Portanto, estas 103 classes de meio físico correspondem às classes efetivamente presentes na área de estudo.

De posse destas informações, administradores, juntamente com técnicos e produtores rurais podem planejar racionalmente, o uso e a conservação do solo e da água da microbacia. Para tanto, o próprio sistema, com as informações já armazenadas, pode e deve ser utilizado de acordo com as características sócio-econômicas locais. Podem, por exemplo, ser estabelecidos critérios de agrupamento de classes do meio físico com o mapa das propriedades da microbacia. Diferentes cenários de uso da terra podem ser simulados e utilizados na avaliação dos impactos ambientais e sócio-econômicos acarretados por estas possíveis mudanças. Estas avaliações podem ser relacionadas a impactos positivos decorrentes de medidas conservacionistas, como por exemplo, reconstituição da área de matas. Os

resultados apresentados na forma de mapas, dados quantitativos e outros recursos visuais, constituem argumentos convincentes junto a órgãos públicos, agentes financeiros e principalmente a própria comunidade local, que pode tornar-se mais ativamente envolvida na preservação do ambiente. É importante salientar que uma vez criado o banco de dados, este pode e deve ser complementado e atualizado periodicamente, seja com a agregação de novos dados ou com o refinamento das informações já armazenadas, para que o monitoramento do uso e conservação dos recursos da microbacia possa tornar-se cada vez mais eficiente.

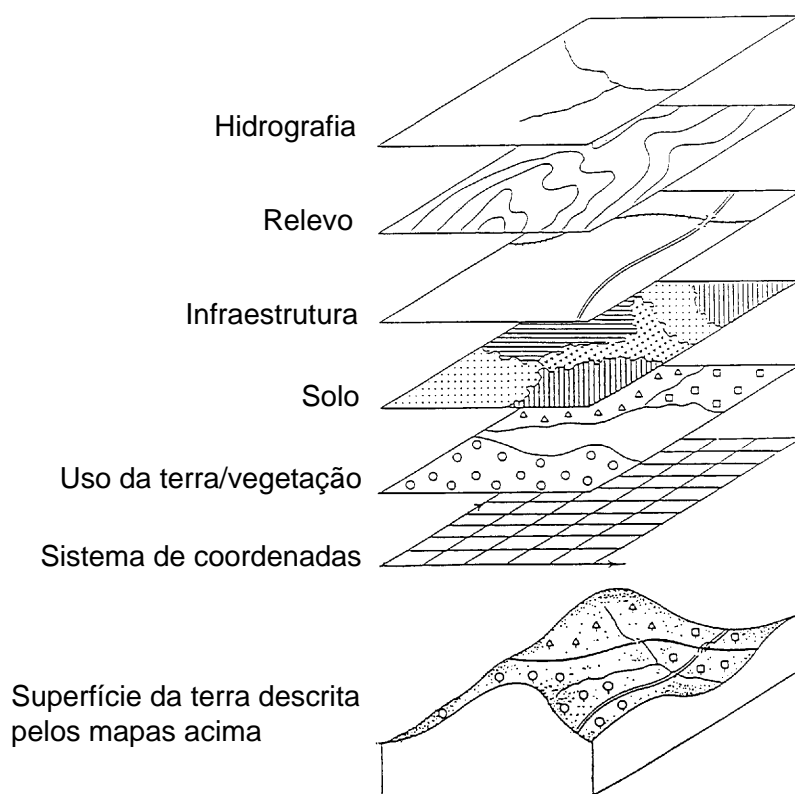


Figura 8. O conceito de overlay: SIGs permitem a sobreposição/cruzamento de mapas distintos.

### Uso de SIGs para a Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras

Formaggio *et al.* (1992) apresentaram uma sistemática de aplicação do sistema de informações geográficas SGI do INPE, na determinação semi-automática da aptidão agrícola, a partir das informações fornecidas por

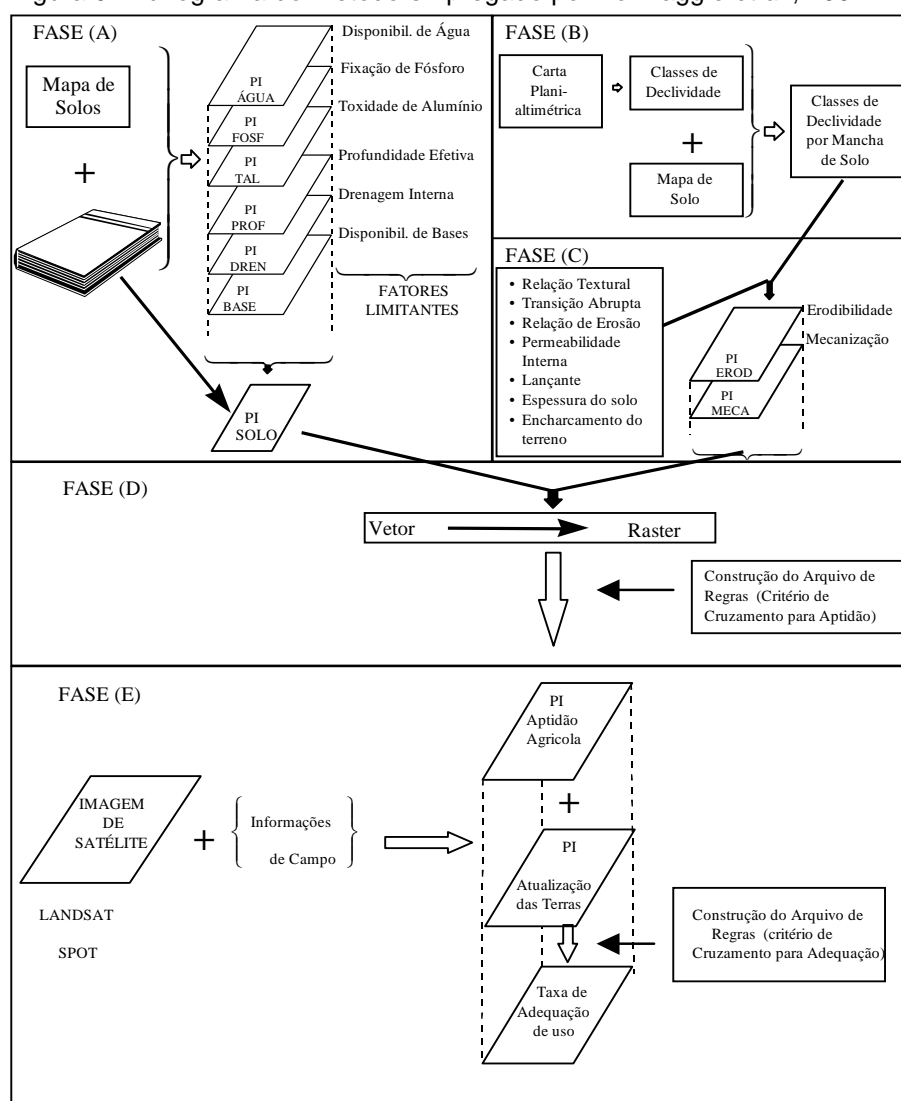
levantamentos de solos e cartas topográficas e da avaliação comparativa com o uso atual, por meio do uso de imagens de satélite, para a determinação da taxa de adequação das terras.

A área de estudo correspondeu a 400 km<sup>2</sup> na região de Leme (SP). O método empregado seguiu o fluxograma mostrado na Figura 9. Com base no levantamento de solos da região (mapa e relatório) e cartas plani-altimétricas, foram gerados 11 planos de informação referentes aos fatores limitantes, para a determinação do mapa de aptidão agrícola no SGI. As unidades de mapeamento do mapa de solos foram reclassificadas com base nos dados de solo e tabelas de conversão, para mostrar por exemplo, disponibilidade de água na zona de enraizamento (PI ÁGUA) e toxicidade de alumínio (PI TAL) entre outras. O uso atual foi mapeado pela interpretação de imagens do satélite Landsat-5. Com o cruzamento destas informações via SGI, obteve-se o mapa de taxas de adequação de uso, mostrando que 17,5% da área de estudo se enquadrava nas classes baixa ou inadequada, devido a usos mais intensivos que os recomendados. O estudo permitiu aos autores concluir que as classes de aptidão agrícola, conjuntamente com as classes de uso da terra, mapeadas via imagens de satélite e cruzadas através de sistemas de informação geográfica, constituem excelentes ferramentas para o monitoramento periódico das taxas de adequação, que por sua vez, podem ser associadas a estudos de impacto ambiental.

A utilização de SIGs vem permitindo o zoneamento de áreas de forma mais eficiente, substituindo métodos tradicionais de análise, quase sempre mais onerosos e de manipulação mais difícil (Sano *et al.*, 1990 citado por Assad, 1993). Segundo Assad (1993) a modificação rápida do uso do meio físico, decorrente da intensificação e da modernização da agricultura, particularmente em áreas de expansão de fronteira agrícola, impõe a adoção de técnicas de avaliação e de diagnóstico que acompanhem a dinâmica espaço-temporal do uso da terra. Por meio dos SIGs pode-se monitorar a variação de temas, obtendo-se novos mapas com rapidez e precisão, a partir da atualização dos bancos de dados. Trata-se, portanto, de uma importante ferramenta no estudo de potencialidades do meio ambiente. No caso específico da avaliação da aptidão das terras para a agricultura, etapa importante para a

definição de práticas adequadas de manejo e conservação do solo e da água, os SIGs podem facilitar o trabalho de representação gráfica das classes e de atualização das informações. Mas a sua maior contribuição parece ser o fato de minimizar a complexidade e o grau de subjetividade de estimativas feitas a partir de cruzamentos realizados de forma manual. Contudo, cabe ressaltar a necessidade de se dispor de bases cartográficas confiáveis, ou pelo menos, espacialmente ajustadas.

Figura 9. Fluxograma do método empregado por Formaggio *et al.*, 1992.



## QUALIDADE DOS RESULTADOS DE UM SIG

De acordo com Davidson (1992), para concluir-se um capítulo sobre sistemas de informação geográfica é importante discutir sobre alguns dos

aspectos relacionados à qualidade dos resultados ou seja, dos produtos dos SIGs. Conforme comentado anteriormente, SIGs são utilizados como forma de fornecer informação para uma ampla gama de decisões. É inevitável que exista um certo grau de incerteza associado a qualquer decisão, mas o objetivo de se utilizar da informação gerada pelo SIG é justamente reduzir esta incerteza. Como não é possível eliminá-la completamente, as decisões deveriam ser tomadas com o devido conhecimento do grau de incerteza associado, embora na prática isto raramente aconteça. O grau de incerteza aceitável deveria ser considerado no início do projeto, pois tais considerações exercem uma forte influência na seleção da informação a ser incorporada ao banco de dados, nos métodos de processamento destes pelo SIG e na resolução dos mapas resultantes.

As possíveis fontes de erros associados aos SIGs foram descritas por Burrough (1986) e sumarizadas por Davidson (1992). Segundo os autores, as três categorias principais são:

- fontes óbvias de erro como por exemplo, intensidade do levantamento original e escala do mapa publicado;
- erros resultantes de variações naturais ou de medições originais como por exemplo, variação dentro de unidades de mapeamento de solos; e
- erros que surgem no processamento tais como erros propagados pela sobreposição de mapas ou transferência vetor-raster.

As duas primeiras fontes de erros listados podem ser agrupadas como erros herdados e a terceira como erro operacional. A estes no entanto, devem ser acrescentados os erros associados à entrada dos dados no SIG. Uma boa ilustração pode ser dada através de uma das operações básicas em um SIG, que é a digitalização de mapas. Dois operadores diferentes ou um mesmo operador repetindo um processo de digitalização quase que certamente produzirão resultados diferentes. Estas diferenças são evidenciadas se compararmos os resultados da digitalização com o mapa original que foi utilizado como fonte dos dados. Os desvios entre o mapa original e o mapa digitalizado são uma expressão da **precisão** (*precision*) da digitalização. Para avaliarmos a **exatidão** (*accuracy*), em contraste com a **precisão**, o mapa digitalizado tem que ser comparado com a realidade por ele representada (como por exemplo os verdadeiro limites de um município ou a verdadeira linha

costeira de uma região). Isto envolve o nível de detalhe com que aquele aspecto do mundo real foi originalmente mapeado, sendo influenciado por exemplo pela escala de mapeamento, por erros associados à projeção do mapa, à transformação dos dados de vetor para raster e outros mais. Em essência, o significado de qualidade para os produtos de um SIG é expresso pela variação entre o resultado e a fonte de informação - **precisão** - e entre o resultado e a realidade - **exatidão**. É preciso estar atento a estes aspectos em função, principalmente, da credibilidade que convergem os produtos gerados por computadores. O processamento pelo SIG pode gerar uma degradação de dados que muitas vezes não estará aparente no resultado final.

## CONCLUSÃO

---

Praticamente todos os países do mundo possuem áreas de beleza natural e valor em termos de preservação, que precisam ser manejadas e protegidas no interesse da população. O conhecimento da localização, quantidade e disponibilidade destes recursos naturais é essencial ao planejamento ambiental racional. Os responsáveis pelo manejo destas áreas enfrentam o problema de balancear atividades humanas (tais como agricultura, indústria e turismo) com os elementos naturais da paisagem (tais como clima, flora e fauna), para garantir a manutenção das características locais. Os SIGs podem auxiliar grandemente neste trabalho, mas para isto, como alertam Silva & Carvalho Filho (1995), não devem ser entendidos apenas como um meio de produção de mapas temáticos, medidores de distâncias ou outros produtos de análise topológica. Devem também ser entendidos como base metodológica para a análise ambiental e ser utilizados para gerar informação ambiental e criar modelos de processos ambientais que auxiliem na tomada de decisão. Bem utilizados, eles fornecem aos planejadores uma fonte prontamente disponível de fatos relacionados às ciências da Terra e a ferramenta barata, rápida e flexível para combinar estes fatos e criar alternativas de decisões.



## LITERATURA CITADA

---

- ARANOFF, S. 1989. Geographic information systems: a management perspective. WDL Publications, Ottawa.
- ASSAD, M.L.L. 1993. Sistema de informações geográficas na avaliação da aptidão agrícola das terras. In: ASSAD, E.D. & SANO, E.E., ed. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 1 ed. Planaltina, EMBRAPA, 1993, p.173-199.
- ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; MEIRELLES, M.L. & MOREIRA, L. 1993. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: ASSAD, E.D. & SANO, E.E., ed. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 1 ed. Planaltina, EMBRAPA, 1993, p.88-108.
- BURROUGH, P.A. 1986. Principles of geographical information systems. Oxford University Press, Oxford. 193 p.
- CALIJURI, M.L. 1995. Sistemas de informação geográfica II. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 40p.
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C. & MEDEIROS, C. M. B. 1996. Anatomia de sistemas de informação geográfica. Instituto de Computação, UNICAMP, Campinas.193p.
- DAVIDSON, D.A. 1992. The evaluation of land resources. Longman, Harlow, Essex.
- FORMAGGIO, A.R.; & ALVES, D.S. & EPIPHANIO, J.C.N. 1992. Sistemas de informação geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. R.Bras. Ci. Solo, 16:249-256, Campinas.
- HANOLD, T. 1972. An executive view of MIS. Datamation 18 (11):66.
- HEYWOOD, I.; CORNELIUS, S. & GARNER, S. 1998. An introduction to geographical information systems. Longman, Essex.
- MEDEIROS, J.S. & TOMÁS, D.D. 1994. Introdução aos sistemas de informações geográficas (versão preliminar). INPE. São José dos Campos, 33p. (Notas de aula).
- RHIND, D.W. 1989. Why GIS? ARC News (Summer), p.28-9.
- SILVA, J. X. da; CARVALHO FILHO, L. M. 1995. Sistema de Informação Geográfica: uma proposta metodológica. In: Tauk-Tornisielo S. M. **Análise Ambiental: estratégias e ações**. T. A. QUEIROZ (ed.), Fundação Salim Farah Maluf, Rio Claro, São Paulo, p.329-44.

- VALENZUELA, C.R. 1991. Basic principles of geographic information systems.  
In: BELWARD, A.S. & VALENZUELA, C.R., (eds.) **Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries.** 1 ed. ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxembourg, 1991, p. 279-295.
- WEIR, M. J. C. 1991. Computer systems for geographic information systems.  
In: BELWARD, A.S. & VALENZUELA, C.R., (eds.) **Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries.** 1 ed. ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxembourg, 1991, p. 297-300.