

## **GEOPROCESSAMENTO E PLANEJAMENTO AGROAMBIENTAL**

EMÍLIA HAMADA

<sup>1</sup>EMBRAPA MEIO AMBIENTE

Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil

emilia@cnpma.embrapa.br

**Resumo.** Este trabalho apresenta o geoprocessamento como uma ferramenta útil na gestão e no planejamento ambientais, dando destaque ao SIG, sua filosofia, principais conceitos, potencial e aplicabilidade e, por último, um exemplo de aplicação no planejamento agroambiental.

**Palavras-chave:** sistema de informação geográfica, suporte à decisão, agricultura, meio ambiente.

### **1. Introdução**

As preocupações com as questões ambientais remontam ao início dos tempos, quando as forças naturais eram consideradas manifestações divinas. Com o passar do tempo e a evolução da humanidade, foram surgindo diversas correntes de pensamento, discutindo a relação homem-natureza, principalmente, com respeito à utilização dos recursos naturais (conservação/preservação e escassez), frente ao crescimento populacional.

Segundo Maurice Strong, Secretário-Geral da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), no encontro global realizado no Rio de Janeiro, em 1992: “O desenvolvimento e o meio ambiente estão indissolúvelmente vinculados e devem ser tratados mediante a mudança de conteúdo, das modalidades e das utilizações do crescimento”.

A Agenda 21, aprovada durante a CNUMAD, conclama a todos para uma associação mundial em prol do desenvolvimento sustentável e apresenta um programa de ação para a sua implementação.

Segundo a Comissão Mundial de Desenvolvimento Sustentável (CMDS), desenvolvimento sustentável é “o processo de transformação no qual a exploração de recursos, direção dos investimentos, orientação do desenvolvimento tecnológico e mudanças institucionais se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas”.

De uma forma mais ampla, em “Nosso Futuro Comum”<sup>1</sup>, define-se assim o desenvolvimento sustentável: “Aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades”.

Segundo Sachs (1993), o desenvolvimento sustentável deve contemplar as seguintes dimensões: social, econômica, ecológica, espacial e cultural. Desta forma, o desenvolvimento sustentável é obtido pela obediência simultânea ou conciliação aos três critérios fundamentais: eficiência econômica, equidade social ou justiça social e prudência ecológica.

Embora as definições de desenvolvimento sustentável sejam muitas, segundo a FAO (2000), uma característica inerente à maioria das decisões sobre desenvolvimento sustentável é que elas são multidisciplinares ou inter-setoriais, pois necessitam negociações entre objetivos conflitantes de diferentes setores; e que, no entanto, a maioria das agências de desenvolvimento de recursos naturais são orientadas por um único setor.

A importância de uma abordagem integrada do desenvolvimento e gerenciamento dos recursos naturais é enfocada em muitos fóruns internacionais de desenvolvimento sustentável. A Agenda 21 (BRASIL, 1994), em seu Capítulo 10, observa que:

*“...As crescentes necessidades humanas e a expansão das atividades econômicas estão exercendo uma pressão cada vez maior sobre os recursos terrestres, criando competição e conflitos e tendo como resultado um uso impróprio tanto da terra como dos recursos terrestres. Caso queiramos, no futuro, atender às necessidades humanas de maneira sustentável, é essencial resolver hoje esses conflitos e avançar para um uso mais eficaz e eficiente da terra e de seus recursos naturais. A abordagem integrada do planejamento e do gerenciamento físico e do uso da terra é uma maneira eminentemente prática de fazê-lo. Examinando todos os usos da terra de forma integrada é possível reduzir os conflitos ao mínimo, fazer as alternâncias mais eficientes e vincular o desenvolvimento social e econômico à proteção e melhoria do meio ambiente, contribuindo assim para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável. A essência dessa abordagem integrada se expressa na coordenação de planejamento setorial e atividades de gerenciamento relacionadas aos diversos aspectos do uso da terra e dos recursos terrestres.”*

Neste sentido, o geoprocessamento pode ser bastante útil na abordagem integrada, por ser uma ferramenta computacional muito poderosa, integrando grandes bancos de dados, de diferentes setores, permitindo, entre outras, a análise matemática e estatística desses dados.

---

<sup>1</sup> COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro, Ed. Fundação Getúlio Vargas. 1991.

O objetivo deste trabalho é apresentar o geoprocessamento como uma ferramenta útil na gestão e planejamento ambientais, descendo o SIG (Sistema de Informações Geográficas), sua filosofia, principais conceitos, potencial e aplicabilidade. Também, é apresentado um exemplo de aplicação do geoprocessamento no planejamento ambiental.

Não se pretende aqui esgotar todo o assunto, uma vez que o tema do geoprocessamento é muito amplo. Trata-se principalmente de introduzir a questão, de forma que leigos e recém-iniciados no assunto, de diversas áreas da gestão ambiental, como das administrações municipais, estaduais, universidades, entidades privadas e órgãos não-governamentais, possam formular demandas e propor aplicações aos especialistas.

## **2. Definições de Sistema de Informações Geográficas**

Há muitas definições de Sistema de Informações Geográficas (SIG) na literatura. No **Quadro 1** são apresentadas algumas delas, definindo o SIG em três categorias: ferramenta, base de dados espacial e para a organização/manuseio da informação espacial.

Pode-se, então, concluir que a maneira de definir ou “pensar” o SIG está relacionada à sua forma de utilização ou aplicação principal que se deseja.

Para os nossos objetivos, o enfoque será dado ao aspecto do SIG como uma poderosa ferramenta computacional, que manipula dados geograficamente referenciados (georreferenciados), que são mantidos em formato digital.

Segundo Aronoff (1989), existem quatro razões para se usar um SIG:

- 1) Os dados armazenados digitalmente estão em uma forma mais compacta do que se eles estivessem em mapas de papel ou em pilhas nas mesas. Normalmente, os dados são armazenados em um ou mais arquivos de um disco rígido fixo, fitas streamer, discos rígidos removíveis, discos ópticos fixos ou discos ópticos removíveis;
- 2) Grande quantidade de dados pode ser mantida e recuperada com grande velocidade e a um custo menor por unidade de dado, quando são utilizados sistemas computacionais;
- 3) A habilidade de gerenciar os dados espaciais e seus correspondentes dados de atributo e de integrar diferentes tipos de dados de atributos em uma única análise, à alta velocidade, são incomparáveis com os métodos manuais; e
- 4) A habilidade de rapidamente realizar análises espaciais complexas fornecem vantagem tanto quantitativa quanto qualitativa. Cenários de planejamento, detecção e análise de mudança e

outros tipos de planos podem ser desenvolvidos por refinamentos de análises sucessivas. Este processo interativo somente se torna prático com um SIG, pois cada processamento computacional pode ser feito rapidamente e a um custo relativamente baixo.

### **Quadro 1. Definições de SIG**

---

#### **(a) Definições baseadas na ferramenta:**

“um poderoso conjunto de ferramentas para a coleta, armazenamento, fácil recuperação, transformação e exibição de dados espaciais do mundo real” (Burrough, 1986).

“um sistema para captura, armazenamento, checagem, manipulação, análise e exibição de dados que são espacialmente referenciados” (Department of Environment, 1987)\*.

“uma tecnologia de informação que armazena, analisa, exibe tanto dados espaciais quanto dados não espaciais” (Parker, 1988)\*.

“um sistema computacional assistido para a coleta, armazenamento, análise e visualização de dados geográficos” (Eastman, 1997).

“uma ferramenta para a integração e análise de dados referenciados geograficamente” (Maguire, 1991).

---

#### **(b) Definições de base de dados:**

“um sistema de base de dados no qual a maioria dos dados está indexada espacialmente e sobre os quais um elenco de procedimentos é operacionalizado, com a finalidade de responder perguntas sobre entidades espaciais na base de dados” (Smith et al., 1987)\*.

“qualquer conjunto de procedimentos de forma manual ou computacional, utilizado para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados” (Aronoff, 1989).

---

#### **(c) Definições baseadas na organização:**

“um conjunto de funções automáticas que assegura aos profissionais o armazenamento, a recuperação, a manipulação e a exibição de dados geograficamente localizados, com recursos/capacidades avançadas,” (Ozemoy, Smith & Sicherman, 1981)\*.

“uma entidade institucional, que reflete uma estrutura organizacional, que integra a tecnologia, uma base de dados, os especialistas e um contínuo suporte financeiro” (Carter, 1989)\*.

“um sistema de suporte à decisão envolvendo a integração de dados referenciados espacialmente em um ambiente de solução de problema” (Cowen, 1988).

---

Fonte: Adaptado de Burrough & McDonnell (1998).

Observação: (\*) apud Burrough & McDonnell (1998).

### 3. Histórico do desenvolvimento do SIG

As raízes da tecnologia de gerenciamento da informação geográfica datam de meados do século XVIII, quando a cartografia se desenvolveu e foram então produzidos os primeiros mapas básicos precisos (Antenucci et al., 1991). Ainda, segundo esses autores, nos duzentos anos seguintes foi observado um grande desenvolvimento nas diversas áreas da ciência que afetaram o SIG, porém, o fato determinante que propiciou uma rápida evolução da tecnologia do SIG foi o surgimento dos primeiros computadores eletrônicos em 1940, que marcou o início da era do computador.

O SIG, propriamente dito, como conhecemos atualmente, teve sua origem com o desenvolvimento do Canadian Geographic Information System (CGIS), no início dos anos de 1960. Segundo Star & Estes (1990), três importantes fatores propiciaram a criação dos sistemas de informações geográficas nos anos de 1960: os refinamentos na técnica cartográfica, o rápido desenvolvimento dos sistemas computacionais digitais e a revolução quantitativa na análise espacial. Esses fatores foram muito importantes, pois ajudaram a fornecer as ferramentas analíticas, assim como o estímulo aos pesquisadores e profissionais em uma variedade de aplicações. Apesar disso, nos anos de 1960 e início dos de 1970, o SIG era ainda restrito a um pequeno grupo de pessoas, devido ao alto custo e limitações técnicas relacionados aos equipamentos computacionais.

Nos anos de 1970, foi observado um grande desenvolvimento do SIG, advindo do aumento da capacidade computacional e o desenvolvimento de tecnologias em áreas relacionadas, tais como: sensoriamento remoto, sistema de gerenciamento de banco de dados, cartografia digital, processamento de imagens, fotogrametria e projeto assistido por computador (*Computer Aided Design* - CAD). Nesse período, o SIG ainda tinha o seu uso restrito às universidades, órgãos de pesquisa e pequenas empresas privadas, porém já em maior número.

Já nos anos de 1980, o SIG realmente decolou, especialmente na última metade da década, devido a dois fatores principalmente: o desenvolvimento significativo dos microprocessadores, que permitiram a redução de custos e a concentração de grande quantidade de memória em chips muito pequenos e, ainda, a proliferação de softwares de baixo custo, muitos deles disponíveis para computadores pessoais (PCs). Esses fatores propiciaram a emergência comercial do SIG como uma nova tecnologia de processamento de informações, oferecendo capacidades únicas de automação, gerenciamento e análise de uma variedade de dados espaciais

Atualmente, a preocupação crescente pelas questões ambientais tem requerido a utilização do SIG de forma cada vez mais usual, por ser uma poderosa ferramenta no gerenciamento e planejamento.

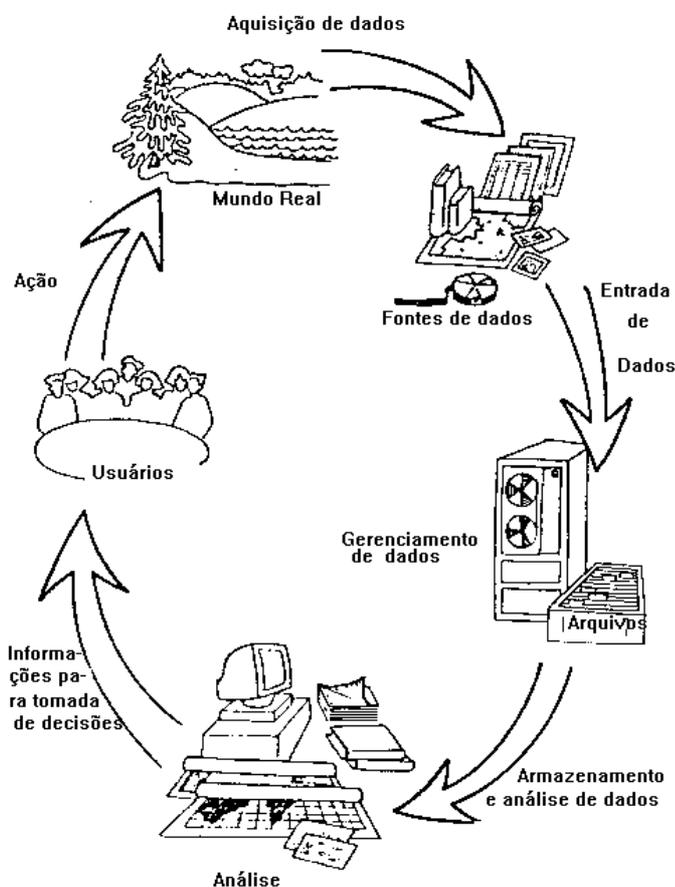
#### 4. Filosofia do SIG

Segundo Eastman (1997), o SIG tem um enorme impacto em todos os campos que utilizam e analisam dados distribuídos espacialmente. Aos que não estão familiarizados com a tecnologia, é fácil vê-lo como uma caixa mágica. A velocidade, a consistência e a precisão com as quais ele opera realmente impressiona e seu forte caráter gráfico é difícil de resistir. Porém, para os analistas experientes a filosofia do SIG é bem diferente. Com a experiência, o SIG torna-se simplesmente uma extensão do pensamento analítico da pessoa. Ele é uma ferramenta, tal como a estatística é uma ferramenta. Ele é uma ferramenta para o pensamento.

As vantagens mais comuns da utilização do SIG são que os dados, uma vez inseridos no sistema, são manipulados com rapidez; além disso, o sistema permite análises dos dados de forma mais eficiente, utilizando ferramentas matemáticas e estatísticas sofisticadas e também com menor subjetividade que se fossem realizadas de forma manual; o SIG também possibilita processos de tomada de decisão, facilita a atualização dos dados e produz mapas com rapidez.

Na **Figura 1** está apresentada uma representação esquemática da utilização do SIG. Observe que o processo é um ciclo. De uma forma simplificada, podemos ver assim a sua utilização:

As fontes de dados, são interpretações da realidade, uma vez que estas foram obtidas do mundo real. No SIG ocorrem os processos de entrada de dados, gerenciamento de dados, armazenamento e análise de dados, que substituem os métodos tradicionais de tratamento de dados geográficos. A partir daí, são geradas informações, que em sua forma mais usual são produtos cartográficos (cartas, gráficos e tabelas), que auxiliam ou dão subsídio aos usuários para uma tomada de decisão. Com o consenso na decisão escolhida, ela é então colocada em ação, agindo sobre o mundo real e eventualmente modificando-o, necessitando, então, de novas aquisições de dados de uma realidade diferente. E assim por diante.



**Figura 1.** Representação esquemática geral de utilização do SIG.

Entre os desafios na implantação do SIG está o alto custo inicial para a aquisição do sistema. Porém, investir em SIG requer mais do que um investimento em hardware e software. De fato, em muitas circunstâncias esta é a última questão a se considerar, pois um investimento substancial também precisa ser destinado ao desenvolvimento do banco de dados. Por fim, um dos últimos investimentos reconhecidos e de maior importância é no corpo técnico (usuários especialistas) que utilizará o sistema. O sistema e o usuário especialista não podem ser separados – um é simplesmente a extensão do outro. Além disso, o processo de incorporação das capacidades do SIG dentro de uma instituição requer um investimento em longo prazo e amplo treinamento e educação da organização.

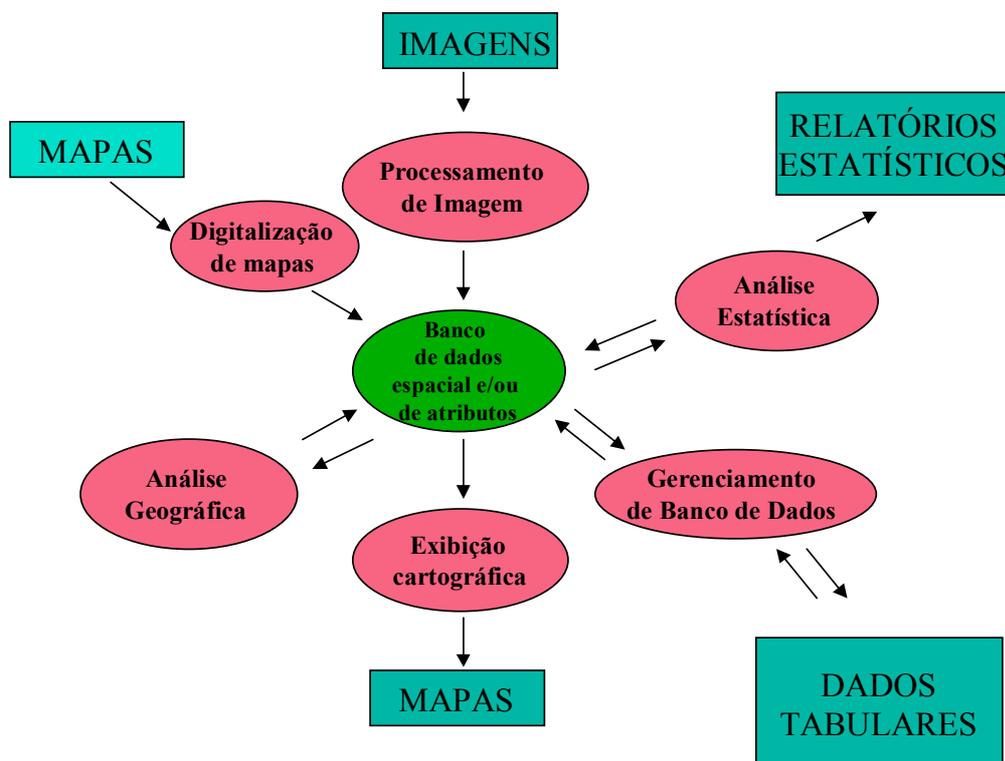
Aprender SIG envolve aprender a pensar - aprender a pensar sobre os padrões, sobre o espaço e sobre os processos que agem no espaço. À medida que você aprende sobre os procedimentos específicos, eles freqüentemente serão encontrados no contexto das aplicações específicas e

geralmente serão designados por nomes que sugerem essas aplicações típicas. Porém, resista à tentação de categorizar essas rotinas. A maioria dos procedimentos tem aplicações muito mais gerais e podem ser utilizados de muitos modos inesperados e inovadores.

O SIG é uma ferramenta computacional poderosa e é, portanto, imprescindível o planejamento, desde a sua implantação até a sua utilização, a fim de atingir os objetivos desejados e explorar tudo que ele pode proporcionar. O êxito de sua utilização depende exclusivamente da forma como o usuário o utiliza.

### 5. Componentes de um SIG

Embora se pense no SIG como um “elemento único” de software, ele possui, de fato, como característico a composição de uma variedade de diferentes componentes (Eastman, 1997). Na **Figura 2** estão apresentados os elementos que geralmente compõem um SIG. Nem todos os SIG’s apresentam todos esses elementos porém os elementos básicos deverão estar presentes para que seja considerado um SIG.



**Figura 2.** Componentes de um Sistema de Informações Geográficas – Adap. de Eastman (1997).

O sistema central do SIG é o banco de dados, que é uma coleção de mapas e informações associadas no formato digital. Ao redor do banco de dados encontra-se uma série de componentes de softwares.

O sistema de exibição ou visualização cartográfica permite selecionar os elementos do banco de dados e produzir um mapa na tela/monitor do computador ou a saída para uma impressora ou plotter.

O sistema de digitalização de mapas permite a entrada de dados de mapas em papel e transformação dessas informações no formato digital.

O termo Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), normalmente, faz referência a um tipo de software que é utilizado para a entrada, gerenciamento e análise de dados de atributo. Um SIG, entretanto, incorpora, além disso, uma variedade de opções para o gerenciamento de componentes espaciais e de atributos de dados geográficos armazenados.

O sistema de análise geográfica proporciona a análise de dados ou atributos baseada em suas características espaciais.

O sistema de processamento de imagem permite a análise de imagens de sensoriamento remoto e fornece análises estatísticas especializadas.

O sistema de análise estatística apresenta uma série de rotinas para a descrição estatística de dados espaciais.

O sistema de suporte à decisão é uma das mais importantes funções de um SIG e possibilita utilizar ferramentas matemáticas e estatísticas especialmente desenvolvidas para este fim.

## **6. Exemplo de aplicação em planejamento agroambiental: alocação de terras**

### **6.1. Aplicações do geoprocessamento**

O geoprocessamento tem sido muito empregado pelos órgãos governamentais, entidades privadas e não-governamentais, com o objetivo, principalmente, de integrar dados espaciais e não espaciais, em seus projetos e estudos relacionados ao meio ambiente.

Diversos são os exemplos de aplicação do geoprocessamento, tais como:

- **Recursos naturais** (estudos de impacto ambiental, modelagem das águas subterrâneas e do caminhamento dos contaminantes, estudos das migrações e dos habitats das faunas, pesquisa do potencial mineral, etc.);

- **Gestão das explorações agrícolas** (cultivo de campo, manejo de irrigação, avaliação do potencial agrícola da terra, etc.);
- **Área urbana** (planejamento dos transportes, desenvolvimento de plano de evacuação, localização dos acidentes, seleção dos itinerários, etc.);
- **Gestão das instalações** (localização dos cabos e tubulações, planejamento e manutenção das instalações, etc.);
- **Administração pública** (gestão de cadastro, avaliação predial/territorial, gestão da qualidade das águas, conservação/manutenção das infraestruturas, planos de organização, etc.);
- **Comércio** (análise da estrutura de mercado, planejamento de desenvolvimento, análise da concorrência e das tendências de mercado, etc.); e
- **Saúde pública** (epidemiologia, distribuição e evolução das doenças, distribuição dos serviços sociais sanitários, planos de emergência, etc.).

Embora os exemplos citados acima tenham sido classificados nessas diferentes áreas, isso se deve ao enfoque principal dos mesmos, uma vez que as aplicações de geoprocessamento na gestão ambiental possuem inerente caráter multidisciplinar.

A seguir, apresentamos um estudo de caso, a fim de demonstrar a possibilidade de aplicação do geoprocessamento como ferramenta no planejamento agroambiental.

## **6.2. Estudo de caso: planejamento agroambiental**

O planejamento é um processo contínuo e cíclico de tomada de decisão, que se compõe de uma série de estágios, relacionados de modo sistemático e ordenado, a fim de se encontrar as melhores e, principalmente, as mais racionais decisões (Conyers & Hills, 1984).

A Agenda 21 (BRASIL, 1994), em seu Capítulo 10 sobre a “Abordagem integrada do planejamento e do gerenciamento dos recursos terrestres” enfoca, entre outras, a necessidade de facilitar a **alocação de terras** a usos que proporcionem os maiores benefícios de forma sustentável, com a participação ativa nesse **processo de tomada de decisão** de todas as pessoas ou grupos afetados, através da aplicação de instrumentos de planejamento e gerenciamento:

*“O objetivo global é facilitar a alocação de terra aos usos que proporcionem os maiores benefícios sustentáveis e promover a transição para um gerenciamento sustentável e integrado dos recursos terrestres. Ao fazê-lo, as questões ambientais, sociais e econômicas devem ser tomadas em consideração.*

*As áreas protegidas, o direito à propriedade privada, os direitos das populações indígenas e de suas comunidades e os direitos de outras comunidades locais, bem como o papel econômico da mulher na agricultura e no desenvolvimento rural, inter alia, devem ser levados em conta.”*

e, ainda,

*“Os Governos, no nível apropriado, com o apoio das organizações nacionais e internacionais, devem promover a melhora, um desenvolvimento mais aprofundado e uma aplicação ampla dos instrumentos de gerenciamento e planejamento que facilitam uma abordagem integrada e sustentável da terra e dos recursos.”*

O Capítulo 40 “Informação para a tomada de decisões”, da Agenda 21 (BRASIL, 1994), observa que devem ser estabelecidos sistemas contínuos e acurados de coleta de dados e recomenda para a avaliação e análise de dados a utilização de sistemas de informações geográficas, sistemas especialistas, modelos e uma variedade de outras técnicas:

*“...Os centros nacionais e internacionais de dados e informações devem estabelecer sistemas contínuos e acurados de coleta de dados e utilizar os sistemas de informações geográficas, sistemas de especialistas, modelos e uma variedade de outras técnicas para a avaliação e análise de dados. Esses passos serão especialmente pertinentes, pois será preciso processar uma grande quantidade de dados obtidos por meio de fontes de satélites no futuro.”*

A análise da decisão que enfatiza o desenvolvimento, a avaliação e a aplicação de técnicas baseadas na lógica matemática e estatística na tomada de decisão é realizada pelos Sistemas de Suporte à Decisão (SSD's).

A integração do SIG e de SSD possibilita que o processo de tomada de decisão seja realizado de forma mais fundamentada, pois o agente de decisão tem à sua disposição dados/informações mais prontamente acessíveis, mais facilmente combinados e modificados, além de utilizar argumentos mais claros para a decisão (Eastman et al., 1993).

O emprego do SIG em problemas de tomada de decisão é recente, mas vem se mostrando cada vez mais uma ferramenta poderosa e eficiente nas diversas áreas do conhecimento, incluindo o planejamento agro-ambiental, como exemplificados pelos trabalhos de Montas & Madramootoo (1992) e Stein et al. (1995).

A seguir, apresentamos o trabalho desenvolvido por Hamada et al. (1997), que apresenta uma metodologia de trabalho utilizando SIG e SSD para aplicação na alocação das terras para uso em

agricultura irrigada. A área de estudo é a bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, no município de Iracemápolis, SP. O objetivo é a confecção de um mapa de adequação das terras para agricultura irrigada da microbacia hidrográfica de estudo.

Nesse estudo foi utilizado o SIG Idrisi *for Windows* e as ferramentas de SSD presentes no SIG. A área de estudo possui cerca de 1.346 hectares, sendo que aproximadamente 91% de sua área é ocupada por cana-de-açúcar e pastagem, demonstrando ser a área essencialmente agrícola (**Figura 3**).

Os mapas de entrada do SIG foram de uso da terra (**Figura 4**), planialtimétrico e de solos (**Figura 5**), obtidos de Bacellar (1994). A partir desses planos de informação iniciais foram gerados os mapas de declividade e de classificação das terras pelo sistema de capacidade de uso (**Figura 6**). Esses são os mapas básicos neste estudo.

A metodologia utilizada é denominada de “Objetivo único e múltiplos critérios” e foi baseada em Eatman et al. (1993). Os critérios considerados são compostos de uma restrição e três fatores. A restrição adotada é que a análise deve considerar somente as áreas ocupadas por pastagem e cana-de-açúcar no mapa de uso da terra.

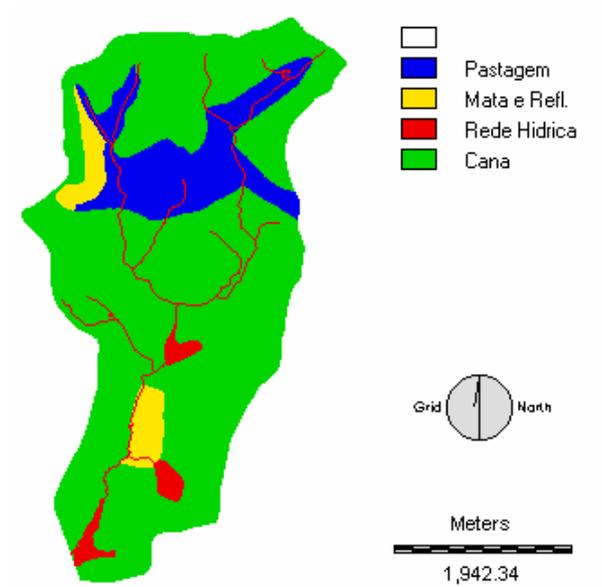
Os fatores considerados foram:

- (i) Proximidade da água, visando à irrigação;
- (ii) Classificação das terras pelo sistema de capacidade de uso<sup>2</sup>; e
- (iii) Declividade.

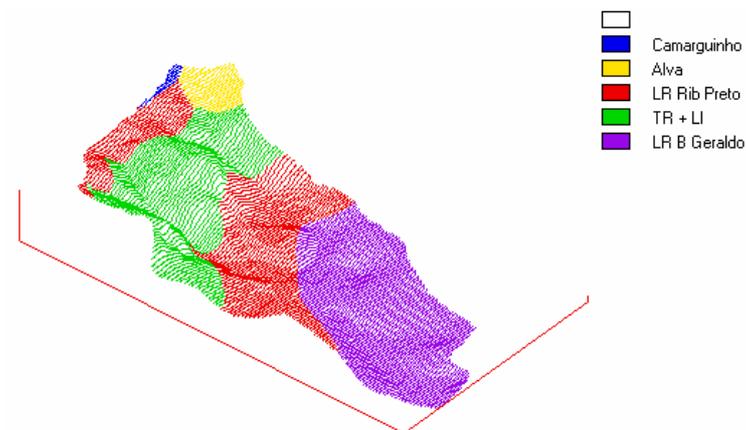
Portanto, as áreas mais aptas à agricultura irrigada seriam as localizadas mais próximas da água, as que possuem as melhores classificações no sistema de capacidade de uso e as que possuem os menores declives.

---

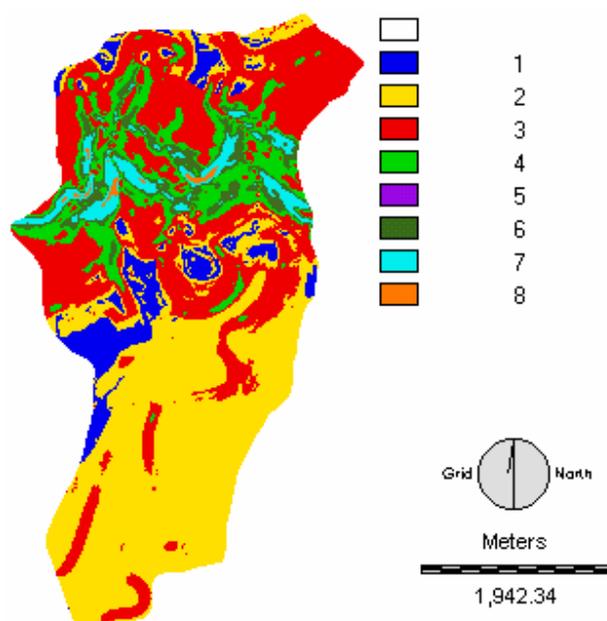
<sup>2</sup> É uma metodologia que propicia o conhecimento das limitações e potencialidades das terras para utilização agrosilvipastoril. Ela é recomendada primordialmente para fins de planejamento de práticas de conservação do solo, ao nível de propriedades ou empresas agrícolas, ou para pequenas bacias hidrográficas (LEPSCH et al., 1991). Inúmeros trabalhos têm utilizado dessa metodologia em SIG's, tais como os de Stefani et al. (1996), HAMADA et al. (1996) e LOPES ASSAD et al. (1998).



**Figura 3.** Mapa de uso da terra.



**Figura 4.** Modelo de elevação digital com solos da área de estudo.



**Figura 5.** Mapa de classificação das terras pelo sistema de capacidade de uso.

Foram obtidos, inicialmente, os mapas de critérios (restrições e fatores). A restrição é que somente as áreas ocupadas por pastagem e cana-de-açúcar devem ser analisadas. Portanto, a partir do mapa de uso da terra, foram separadas as áreas de interesse.

O mapa de fator proximidade da água foi obtido considerando que as melhores terras para o uso em irrigação são as mais próximas da rede hídrica. Foi obtido o mapa de distância dos cursos d'água, calculando a distância a partir de um grupo de *pixels* alvos que, neste caso, é a rede hídrica.

O segundo mapa de fator é o de classificação das terras. E, por último, temos o mapa de fator declividade. As melhores terras para o uso agrícola e irrigação são as que possuem os menores declives.

De posse dos mapas de fatores padronizados, foi adotado o processo analítico hierárquico, baseado em pontuação. Foi estabelecido um conjunto de pesos dos fatores, em uma escala de valores, a fim de estabelecer a importância relativa de cada fator com relação ao objetivo do trabalho (**Quadro 2**). Nesse processo, o grupo envolvido na decisão faz um julgamento sobre a importância relativa dos fatores envolvidos, criando uma matriz de comparação de pares de fatores (**Quadro 3**).

A matriz possui consistência quando sua taxa de consistência é menor que 0,01, caso contrário, indica-se à volta da discussão ao grupo de decisão a fim de modificar os pesos atribuídos aos fatores.

**Quadro 2.** Escala de valores da importância relativa dos fatores

<b>Importância negativa</b>	<b>Peso</b>	<b>Importância positiva</b>	<b>Peso</b>
Extrema	1/9	moderada	3
muito forte	1/7	forte	5
Forte	1/5	muito forte	7
Moderada	1/3	extrema	9
Igual	1		

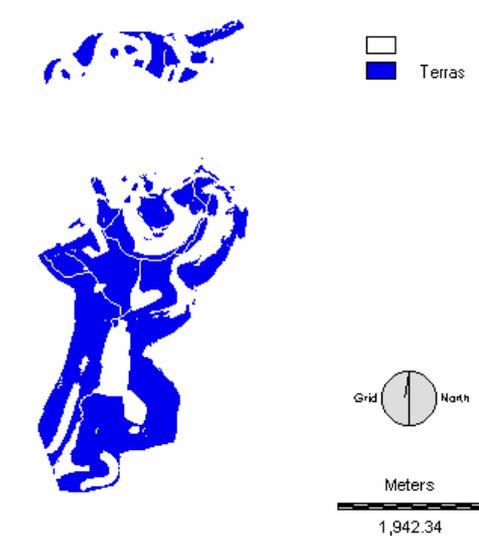
Fonte: Adaptada de Eastman et al. (1993).

**Quadro 3.** Matriz de comparação de pares de fatores

	<b>Proximidade Da água</b>	<b>Classificação das terras</b>	<b>Declividade</b>
<b>Proximidade da água</b>	1		
<b>Classificação das terras</b>	3	1	
<b>Declividade</b>	1/3	1/7	1

De posse da matriz, aplica-se a avaliação multi-criterial ou *Multi-Criteria Evaluation*, obtendo-se o mapa de adequação das terras para a atividade agrícola irrigada. Os mapas de fatores são multiplicados pelos pesos respectivos e, posteriormente, somados. Por fim, o mapa de adequação é multiplicado pelo mapa de restrição, a fim de eliminar as áreas que não devem ser considerados no estudo.

O mapa de adequação apresenta todas as áreas possíveis de uso em agricultura irrigada, na escala de valores padronizada. A fim de selecionar, por exemplo, os melhores 500 hectares, cada um dos *pixels* do mapa necessita ser individualizado e ordenado. A seleção, então, se dá pela separação do número de *pixels* referentes aos 500 hectares (**Figura 6**).



**Figura 6.** Melhores 500 hectares para agricultura irrigada.

Esse trabalho demonstra que a integração do SIG e de técnicas de SSD para a avaliação da adequação das terras para a agricultura irrigada apresenta inúmeras vantagens. Sendo o SIG uma ferramenta que possibilita a espacialização e o cruzamento dos dados e conjugada às técnicas de SSD participativa, eles permitem reduzir a subjetividade introduzida em operações de cruzamento manual de informação sobre o meio ambiente, além de facilitar a disponibilidade e atualização dos dados e o aperfeiçoamento do estudo pelos agentes de decisão.

### **7.Considerações finais**

O geoprocessamento está sendo cada vez mais utilizado como ferramenta de manipulação de dados espaciais, na solução de problemas geográficos complexos, como são, muitas vezes, os casos de aplicação ambiental. No entanto, os usos potenciais do geoprocessamento devem ser entendidos em todos os aspectos na adoção dessa tecnologia.

Desta forma, é importante possuir o entendimento geral da tecnologia do geoprocessamento, de forma que os gerentes, especialistas técnicos e potenciais usuários possam adequar essa ferramenta à sua aplicação específica.

## Referências

ANTENUCCI, J. C.; BROWN, K.; CROSWELL, P. L.; KEANY, M. J. **Geographic information system: a guide to the technology**. New York: Van Nostrand Reinhold, 191. 301p.

ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: A Management Perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989. 295 p.

BACELLAR, A. A. A. **Estudo da erosão na microbacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha - Município de Iracemápolis, utilizando um Sistema de Informação Geográfica**. Relatório Técnico, FEAGRI/UNICAMP, 30p., 1994.

BRASIL. **Agenda 21**. MCT/MMA: Projeto PNUD BRA/94/016, 1994. (Versão eletrônica 1.1).

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1986. 194p.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333p.

CONYERS, D.; HILLS, P. **An introduction to development planning in the Third World**. Chichester: John Wiley & Sons, 1984. 271p.

COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, p. 1551-1554, 1988.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: user's guide - version 2.0**. Worcester, MA: Clark University, 1997.

EASTMAN, J. R.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J.; JIN W. **GIS and decision making**. Genebra: UNITAR Explorations in Geographic Information Systems Technology Workbook, v. 4, 1993. 112p.

FAO. **Geographic information systems in sustainable development**. Capturado em 14 fev. 2000. Online. Disponível na Internet <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/SUSTDEV/Eidirect/gis/Eigis000.htm>.

HAMADA, E.; CAVALIERI, A.; ROCHA, J. V.; KÜPPER, R. B. Classificação das terras no sistema de capacidade de uso utilizando o SIG-IDRISI. In: I SIMPÓSIO DE USUÁRIO IDRISI - I SIDRIS, 1996, Campinas, SP. **Caderno de Resumos**, Campinas, 1996. 89p. p. 75-77.

HAMADA, E.; ROCHA, J. V.; CAVALIERI, A. Alocação das terras para agricultura irrigada utilizando sistema de suporte à decisão participativo e sistema de informação geográfica: simulação de caso da microbacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha – SP. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1997, Vitória, ES. **Anais...** São Paulo, 1997. v.1. 747p. p.689-695. (também disponível em Anais... em CD-ROM)

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; BERTOLINI, DL; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4<sup>a</sup>. aprox., 2<sup>a</sup>. imp. rev.. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LOPES ASSAD, M. L.; HAMADA, E.; CAVALIERI, A. Sistema de informações geográficas na avaliação de terras para agricultura. In: ASSAD, E. D. e SANO, E. E. ed. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. cap.11, p. 191-232.

MAGUIRE, D. J. An overview and definition of GIS. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. **Geographical information systems: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, 1991. p. 9-20.

MONTAS, H.; MADRAMOOTOO, C. A. A Decision Support System for soil conservation planning. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 7, p. 187-202, 1992.

STAR, J.; ESTES, E. **Geographic information systems: an introduction**. New Jersey: Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, 1990.

STEFANI, F. L.; TOGNON, A. A.; SAAD, A. M.; AGENA, S. S. Classificação das terras do município de Guaira, SP, no sistema de capacidade de uso. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1996, Salvador, BA. **Anais...**, CD ROM, 1996.

STEIN, A.; STARITSKY, I.; BOUMA, J.; VAN GROENIGEN, J. W. Interactive GIS for environmental risk assessment. **Int. J. Geographical Information Systems**, London, v. 9, n. 5, p. 509-525, 1995.