

Documentos

ISSN 1516-4691
Dezembro, 2007

67

**Introdução ao
Geoprocessamento:
princípios básicos e aplicação**





ISSN 1516-4691

Dezembro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 67

Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação

***Emília Hamada
Renata Ribeiro do Valle Gonçalves***

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2007

Exemplares dessa publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP 340 - km 127,5 - Tanquinho Velho
Caixa Postal 69 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: (19) 3867-8750 Fax: (19) 3867-8740
sac@cpnma.embrapa.br
www.cpnma.embrapa.br

Comitê de Publicação da Unidade

Presidente: *Alfredo José Barreto Luiz*

Secretária-Executiva: *Heloisa Ferreira Filizola*

Secretário: *Sandro Freitas Nunes*

Bibliotecária: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Membros: *Ladislau Araújo Skorupa, Ariovaldo Luchiani Júnior, Luiz Antônio S. Melo, Adriana M. M. Pires, Emília Hamada e Cláudio M. Jonsson*

Normalização Bibliográfica: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Editoração Eletrônica: *Alexandre Rita da Conceição*

1ª edição eletrônica

(2007)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no seu todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Hamada, Emília

Introdução ao geoprocessamento: princípios básicos e aplicação /
Emília Hamada, Renata Ribeiro do Valle Gonçalves. – Jaguariúna:
Embrapa Meio Ambiente, 2007.
52 p. : il. – (Embrapa Meio Ambiente. Documentos; 67)

1. Geoprocessamento. 2. SIG - Sistemas de Informações
Geográficas. I. Hamada, Emília. II. Gonçalves, Renata Ribeiro do Valle.
III. Título. IV. Série.

CDD 526

© Embrapa 2007

Autores

Emília Hamada

Engenheira Agrícola, Doutora em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340 - Km 127,5 - 13.820-000, Jaguariúna, SP.

E-mail: emilia@cnpma.embrapa.br

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves

Engenheira Cartográfica, Bacharel em Engenharia Cartográfica, Mestranda em Engenharia Agrícola, Bolsista FAPESP.

E-mail: renaribeiro@yahoo.com.br

Apresentação

O Geoprocessamento é uma poderosa ferramenta computacional, que processa dados geograficamente referenciados e pode ser bastante útil na abordagem integrada, essencial ao gerenciamento dos recursos naturais. Neste documento são apresentados os tópicos definições, histórico, componentes, entrada de dados e estrutura dos dados, bem como um exemplo de aplicação do geoprocessamento no planejamento de seleção das terras para agricultura irrigada.

Sendo uma ferramenta cada vez mais utilizada na solução de problemas geográficos complexos, como são, em geral, os casos de aplicação na área de meio ambiente, torna-se bastante oportuno e proveitoso que o potencial e a aplicabilidade do geoprocessamento sejam conhecidos pelas pessoas e instituições vinculadas às diversas áreas da gestão ambiental.

Como observado pelas autoras, não se pretende aqui esgotar o assunto, uma vez que o tema do geoprocessamento é muito amplo. Cuida-se, nessa obra, principalmente de introduzir a questão aos interessados, recém-iniciados e leigos no assunto, de diversas áreas de estudo do meio ambiente.

Cláudio Aparecido Spadotto
Chefe-Geral
Embrapa Meio Ambiente

Sumário

Capítulo 1	08
Introdução	08
Capítulo 2	10
Sistema de Informações Geográficas	10
2.1. Definições de SIG	10
2.2. Histórico do desenvolvimento do SIG	12
2.3. Preceitos do SIG	13
2.4. Componentes de um SIG	15
2.5. Aplicações do geoprocessamento	17
Capítulo 3	19
Representação cartográfica	19
3.1. Tipos de representação	19
3.2. Escala	20
3.3. Sistemas de coordenadas	20
3.4. Sistemas de projeções cartográficas	21
3.5. Sistema de projeção UTM	24

Capítulo 4	28
Dados em SIG	28
4.1. Qualidade dos dados	28
4.2. Entrada de dados	28
4.3. Fonte de dados	29
4.4. Dados tratados em SIG	30
4.5. Métodos de captura de dados	32
4.6. Estrutura de dados	32
Capítulo 5	35
Exemplo de aplicação de geoprocessamento em planejamento das terras para agricultura irrigada	35
5.1. Estudo de caso: planejamento das terras para agricultura irrigada ..	35
Referências	48

Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação

Emília Hamada

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves

Capítulo 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 indissolavelmente 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.

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 huma-

nas (COMISSÃO MUNDIAL..., 1991). De uma forma mais ampla, define-se também como 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.

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 (ABORDAGEM..., 2006), 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, integran-

do grandes bancos de dados, de diferentes setores, permitindo, entre outras, a análise matemática e estatística desses dados.

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.

O objetivo desta revisão é apresentar o geoprocessamento como uma ferramenta útil na gestão e planejamento ambientais, destacando o SIG (Sistema de Informações Geográficas), principais conceitos, potencial e aplicabilidade, por meio de um estudo de caso de planejamento de seleção das terras para agricultura irrigada.

Capítulo 2

Sistema de Informações Geográficas

2.1. Definições de SIG

Há muitas definições de Sistema de Informações Geográficas (SIG) na literatura. Na Tabela 1 são apresentadas algumas delas, separando-as em três categorias: ferramenta, base de dados espacial e para a organização/manuseio da informação espacial.

Tabela 1. Definições de SIG

(a) Definições do SIG baseadas na qualidade como 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 do SIG baseadas na qualidade como 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 do SIG baseadas na qualidade de 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 avançados,” (OZEMOV; 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)*.

Fonte: Burrough; McDonnell, 1998 (modificado).

Observação: (*) apud Burrough; McDonnell (1998).

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 objetivos deste estudo, o enfoque dado foi 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;

- 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.

2.2. Histórico de 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, mas 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, 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, na década de 1960 e no início da de 1970, o SIG era ainda restrito a um pequeno grupo de pessoas, devido ao alto custo e limitações técnicas relacionados aos equipamentos computacionais.

Na década de 1970 foi observado um grande desenvolvimento do SIG, com o aumento da capacidade computacional e o desenvolvimento de tecnologias/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 poucas 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.

Hoje, graças ao desenvolvimento do SIG, a aplicação de modelagem lógica e numérica e de métodos estatístico aos dados espacial é quase rotina e de grande relevância.

2.3. Preceitos 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 é difícil resistir ao seu forte caráter gráfico. Porém, para os analistas experientes o SIG torna-se simplesmente uma extensão do pensamento analítico, é uma ferramenta, tal como a estatística.

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 diferentes 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 Fig. 1 está a representação esquemática da utilização do SIG. Pode-se observar que o processo é um ciclo. As fontes de dados, são interpretações da realidade, uma vez que 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, como mapas, 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.

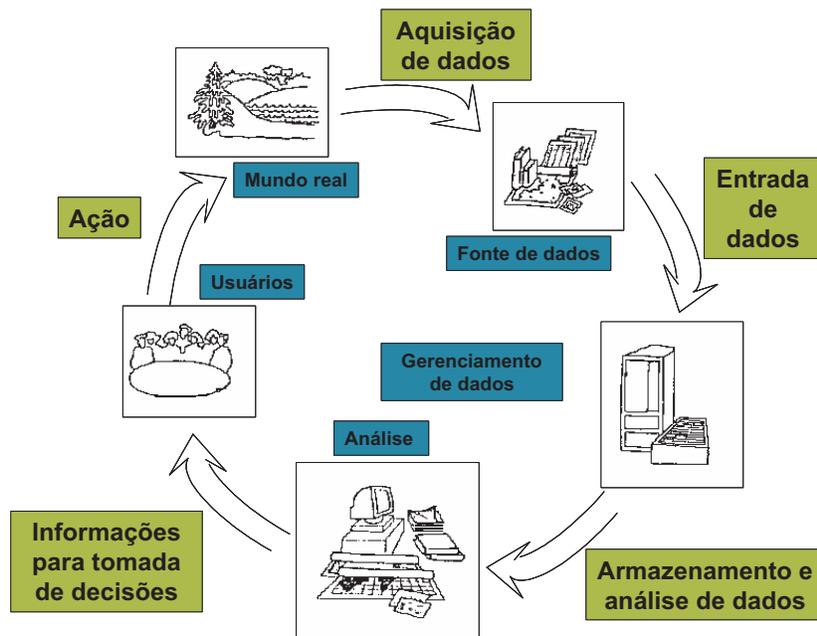


Fig. 1. Representação esquemática geral de utilização do SIG.

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 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 a longo prazo e amplo treinamento e educação da organização.

Aprender SIG envolve aprender a pensar sobre os padrões, sobre o espaço e sobre os processos que agem no espaço. À medida que se 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, 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. 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.

2.4. Componentes de um SIG

Embora se pense no SIG como um **elemento único** de “software”, ele possui, de fato, como característica a composição de uma variedade de diferentes componentes (EASTMAN, 1997). Na Fig. 2 estão apresentados 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.

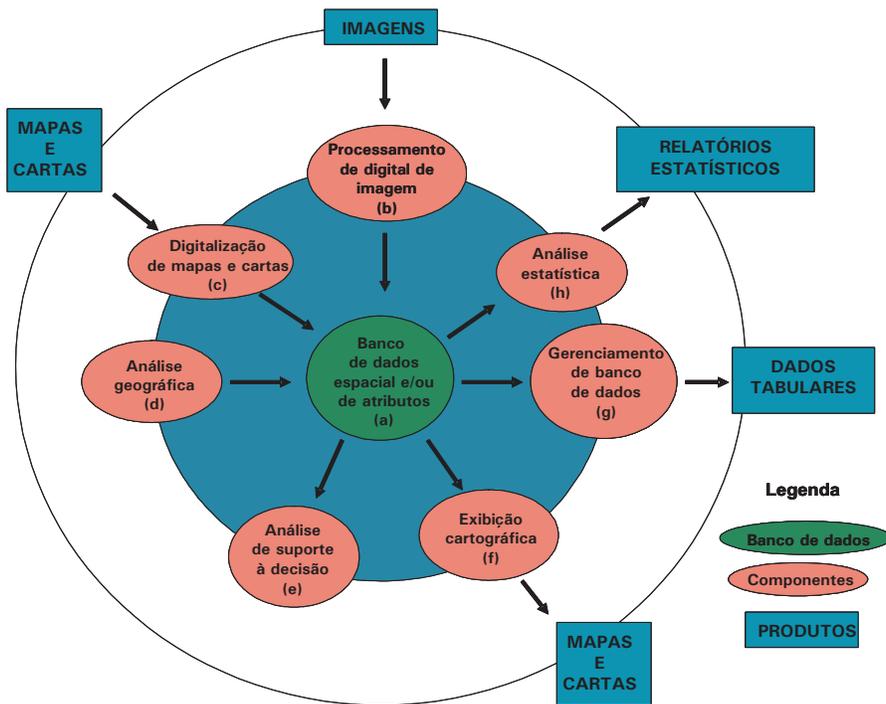


Fig. 2. Componentes de um Sistema de Informações Geográficas. Fonte: Eastman, 1997 (modificado).

O sistema central do SIG é o banco de dados (a), 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 processamento de imagem (b) permite a análise de imagens de sensoriamento remoto, de radar e de fotografia aérea, por exemplo.

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

O sistema de análise geográfica (d) proporciona a análise de dados ou atributos baseada em suas características espaciais. Por exemplo, para calcular a

distância entre duas cidades e a área ocupada no município por uma cultura agrícola.

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

O sistema de exibição ou visualização cartográfica **(f)** 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 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 atributos. Um SIG incorpora, além disso, uma variedade de opções para o gerenciamento de banco de dados **(g)**, composto de componentes espaciais e de atributos de dados geográficos armazenados.

O sistema de análise estatística **(h)** apresenta uma série de rotinas para a descrição estatística de dados espaciais.

Os SIG hoje disponíveis podem ser divididos em dois grandes rumos: os comerciais e os acadêmicos, sendo os sistemas comerciais são mais indicados para uso e aplicação em grandes projetos, que manipulam grande quantidade de informação e são, em grande proporção, mais caros que os sistemas acadêmicos (MIRANDA, 2005).

2.5. 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:

- **Manejo e conservação de 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.);

· **Planejamento de 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 infra-estruturas, 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 a maioria das aplicações de geoprocessamento possui inerente caráter multidisciplinar.

Neste livro é apresentado, ao final, um estudo de caso, a fim de demonstrar a possibilidade de aplicação do geoprocessamento como ferramenta no planejamento das terras para agricultura irrigada.

Capítulo 3

Representação cartográfica

3.1. Tipos de representação

Em geral, qualquer fenômeno geográfico pode ser representado utilizando três elementos: pontos, linhas e áreas.

Os **pontos** são utilizados para representar a localização de um fenômeno geográfico ou representar uma entidade de mapa que é muito pequena para ser mostrada como área ou linha. Exemplos de pontos são as localizações de uma cidade ou do pico de uma montanha, em escala, por exemplo, de 1:1.000.000. Para representar esse fenômeno é definido um par de coordenadas X e Y, suficiente para descrever sua posição.

As **linhas** são um conjunto ordenado de pontos conectados, utilizadas para representar entidades de mapas que são muito estreitas para serem mostradas como área, por exemplo, estradas, redes de saneamento, rede telefônica e cursos d'água, como córregos ou ribeirões, ou entidades que teoricamente não têm largura, tais como fronteiras territoriais políticas ou administrativas, uma linha costeira ou uma linha de contorno. As entidades lineares são descritas por dois ou mais pares de coordenadas.

As **áreas** ou **polígonos** são regiões fechadas por entidades de linha, representadas por um conjunto ordenado de pontos interligados, em que o primeiro e o último ponto coincidem. São utilizadas na representação de uma extensão geográfica de cidade, florestas, unidades pedológicas ou lago.

Esses tipos de representação (pontos, linhas e áreas) consideram apenas a dimensão topológica, ou seja, a idéia normal de dimensão da observação dos objetos espaciais e não a sua forma intrínseca (ABRANTES, 1998), desta forma, eles são condicionados pela **escala** adotada para a sua representação cartográfica. Por exemplo, as regiões cuja área ou largura são demasiado pequenas para, na escala adotada, serem visualizadas com a sua forma geométrica real são, respectivamente reduzidas a pontos ou linhas. À medida que a escala diminui, os objetos polígonos de menores dimensões vão sendo sucessivamente reduzidos a pontos ou linhas.

3.2. Escala

Um mesmo fenômeno pode ser representado em muitos níveis de abstração ou em várias escalas cartográficas. Toda a representação, como toda imagem, tem uma certa relação de tamanho ou proporção com o objeto representado e essa proporção é denominada de escala.

A escala é, portanto, a relação entre o tamanho dos elementos representados em um mapa ou carta e o tamanho correspondente, medido sobre a superfície da Terra.

A escala numérica ou fracionária é apresentada por uma fração, cujo denominador representa a dimensão natural ou real e o numerador a dimensão que corresponde no mapa. Por exemplo, a escala 1:50.000 ou 1/50.000, indica que uma unidade de medida no mapa (1 cm no mapa) equivale a 50.000 unidades da mesma medida sobre o terreno (50.000 cm no terreno ou 500 metros).

Definir a escala de trabalho em um projeto de SIG é muito importante. A sua escolha depende principalmente da informação que se deseja trabalhar e do nível de detalhamento necessário para se atingir os objetivos do estudo, pois, por exemplo, quando se diminui a escala de um mapa ou carta, é difícil, ou mesmo impossível, manter o nível de detalhe com que os objetos são representados.

3.3. Sistemas de coordenadas

Para localizar um objeto na superfície terrestre é necessário conhecer sua posição geográfica e para isso sua localização tem que estar determinada numa rede coerente de coordenadas, então quando se dispõe de um sistema de coordenadas fixas, pode-se definir a localização de qualquer ponto na superfície terrestre. Os sistemas de coordenadas dividem-se em sistemas de coordenadas geográficas ou terrestres e sistemas de coordenadas planas ou cartesianas.

Segundo Câmara et al. (1996), no sistema de coordenadas geográficas ou terrestres, cada ponto da superfície terrestre é localizado na interseção de um meridiano com um paralelo. Meridianos são círculos máximos da esfera cujos planos contem o eixo dos pólos, sendo o Meridiano de Greenwich o meridiano de origem. E paralelos são círculos da esfera cujos planos são

perpendiculares ao eixo dos pólos, sendo o Equador o paralelo de origem dividindo a Terra em dois hemisférios, Norte e Sul.

Esse sistema representa um ponto na superfície terrestre por um valor de latitude e longitude. A **longitude** é a distância angular entre um ponto qualquer da superfície terrestre e o meridiano de origem. **Latitude** é a distância angular entre um ponto qualquer da superfície terrestre e a linha do Equador.

O sistema de coordenadas planas ou cartesianas baseia-se na escolha de eixos perpendiculares, usualmente denominados eixos horizontal e vertical, cuja interseção é denominada origem, estabelecida como base para a localização de qualquer ponto do plano. Um ponto é representado por dois números, um correspondente à projeção sobre o eixo x (horizontal), associado à longitude, e outro correspondente à projeção sobre o eixo y (vertical), associado à latitude (CÂMARA et al., 1996).

3.4. Sistemas de projeções cartográficas

Todos os mapas são representações aproximadas da superfície terrestre, que projetam cada ponto do globo terrestre em uma superfície plana. Para obter essa correspondência, utilizam-se os sistemas de projeções cartográficas (CÂMARA et al., 1996).

A escolha de um sistema de projeção cartográfica é realizada de maneira que o mapa venha a possuir propriedades que satisfaçam as finalidades impostas pela sua utilização. O ideal seria construir um mapa que reunisse todas as propriedades, representando uma superfície rigorosamente semelhante à superfície da Terra. Nesse caso, o mapa deveria possuir as seguintes propriedades:

- Conformidade (manutenção da forma das áreas a serem representadas);
- Equivalência (inalterabilidade das áreas); e
- Eqüidistância (constância das relações entre as distâncias dos pontos representados e as distâncias dos seus correspondentes).

Essas propriedades seriam facilmente conseguidas se a superfície da Terra fosse plana ou uma superfície desenvolvível no plano. Como isso não ocorre, torna-se impossível a construção do mapa ideal.

Quanto ao tipo de uma superfície de projeção adotada, classificam-se em: planas ou azimutais, cônicas e cilíndricas (Fig. 3), as quais representam a superfície curva da Terra sobre um plano, um cone, um cilindro tangente ou secante à esfera terrestre, de modo normal, transverso ou oblíquo.

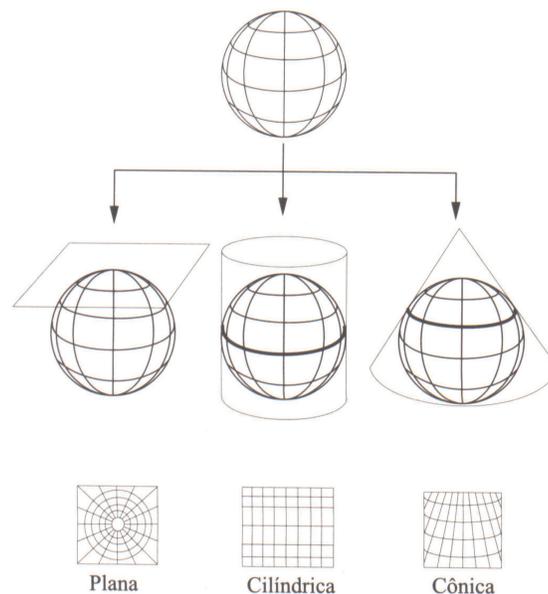


Fig. 3. Sistemas de projeções cartográficas. Fonte: Miranda, 2005.

Segundo Câmara et al. (1996), na **projeção plana ou azimutal**, constrói-se o mapa imaginando-o projetado num plano tangente ou secante à Terra. Na **projeção cônica**, pode-se imaginar que o mapa é inicialmente projetado sobre um cone tangente ou secante à superfície terrestre, que é em seguida “desenrolado” sobre um plano. O mesmo ocorre na **projeção cilíndrica**, onde a projeção é imaginada sobre um cilindro. Em todas as projeções cônicas, os meridianos são retas que convergem em um ponto, e os paralelos são circunferências concêntricas a esse ponto. Em todas as projeções cilíndricas, os meridianos e os paralelos são representados por retas perpendiculares.

Cada sistema de projeção apresentará distorções diferentes no mapa final, pois no processo de transformação da superfície esférica para o plano ocorrem distorções que não podem ser completamente eliminadas, logo não existe mapa perfeito nem livre de erros. A solução é construir um mapa que, sem possuir todas as condições ideais, possua aquelas que satisfaçam a determinado objetivo. Portanto, ao escolher o sistema de projeção é necessário considerar a finalidade do mapa que se quer construir.

A Tabela 2 mostra as características principais de alguns sistemas de projeções cartográficas mais importantes. As aplicações descritas referem-se à situação de uso das projeções no Brasil. O sistema UTM, o mais utilizado, será descrito a seguir com mais detalhes.

Tabela 2. Sistemas de projeções cartográficas, classificação, características e aplicações

Projeção	Classificação	Características	Aplicações
Albers	Cônica Equivalente	Preserva área. Substitui com vantagens todas as outras cônicas equivalentes.	Mapeamentos temáticos. Mapeamento de áreas com extensão predominante leste-oeste.
Estereográfica Polar	Azimutal conforme	Preserva ângulos. Tem distorções de escala.	Mapeamento das regiões polares. Mapeamento da Lua, Marte e Mercúrio.
Lambert	Cônica Conforme	Preserva ângulos.	Mapas temáticos. Mapas políticos. Cartas militares. Cartas aeronáuticas.
Mercator	Cilíndrica Conforme	Preserva ângulos.	Cartas náuticas. Mapas geológicos. Mapas Mundi.
UTM	Cilíndrica Conforme	Preserva ângulos. Altera áreas (porém as distorções não ultrapassam 0,5%).	Mapeamento básico em escalas médias e grandes. Cartas topográficas.

3.5. Sistema de projeção UTM

A projeção UTM ("Universal Transverse de Mercator") foi desenvolvida durante a 2ª Guerra Mundial. Esse sistema é, em essência, uma modificação da Projeção Cilíndrica Transversa de Mercator, onde o cilindro de projeção é secante à superfície de referência, conforme mostra a Fig. 4.

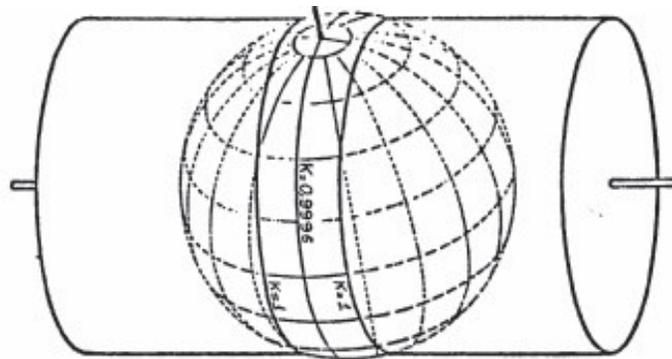


Fig. 4. Cilindro secante. Fonte: Silva,1998.

O sistema UTM possui como característica a projeção conforme, na qual conserva os ângulos e a forma de pequenas áreas. Nesse sistema a Terra é dividida em 60 fusos de 6° de amplitude longitudinal, limitados ao norte pelo meridiano 84° N e, ao sul, pelo meridiano 80° S. Cada um desses fusos, numerados de 1 a 60 no sentido leste começando no meridiano 180°, é gerado a partir de uma rotação do cilindro de forma que o meridiano de tangência divide o fuso em duas partes iguais de 3° de amplitude. O Brasil está localizado entre os fusos 18 e 25, nas latitudes de 6° N a 34° S e longitudes 74° O a 34° L (Fig. 5).

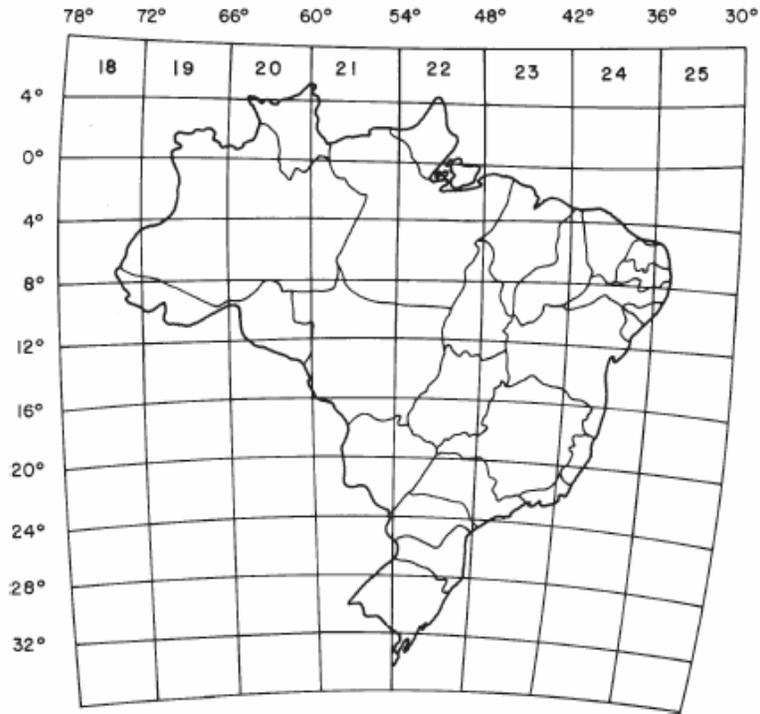


Fig. 5. Divisão do Brasil em fusos de 6° de longitude. Fonte: D'Alge, 2006 (modificado).

O meridiano central de um fuso é representado em verdadeira grandeza. A fim de minimizar as variações de escala dentro do fuso aplica-se ao meridiano central de cada fuso um fator de redução de escala igual a 0,9996. A redução máxima ocorre no meridiano central (0,9996) e a ampliação máxima ocorre nas bordas dos fusos (aproximadamente 1,001) (BLATCHUT et al., 1979).

De acordo com Silva (1999), deve-se tomar bastante cuidado quando os dados ultrapassarem a amplitude do fuso ou quando parte da área em estudo está contida em dois fusos. Nesses casos, são necessárias correções para que as distâncias e as relações angulares correspondam à realidade. Para evitar valores negativos na interseção do Meridiano de Greenwich com o Equador, são acrescidos 10.000.000 m às abscissas do hemisfério Sul e 500.000 m às ordenadas.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) adota a nomenclatura da Carta Internacional ao Milionésimo (CIM) para a identificação de folhas topográficas. Essa nomenclatura contém letras e números, os quais referem-se à localização geográfica da área e a escala da folha.

A localização geográfica da CIM foi obtida com a divisão do planeta em 60 fusos de amplitude de 6°, numerados a partir do fuso 180° O a 174° O, no sentido oeste-leste. Cada um desses fusos, por sua vez, estão divididos a partir da linha do Equador em 21 zonas de 4° de amplitude para o Norte e com o mesmo número para o Sul.

A nomenclatura é composta de:

- Letra S ou N: indica se a folha está localizada ao Sul ou ao Norte do Equador;
- Letras A até U: cada uma dessas letras se associa a um intervalo de 4° de latitude, se desenvolvendo à Norte e ao Sul do Equador; e
- Número de 1 a 60: indica o número de cada fuso.

À medida que a nomenclatura inclui mais combinações entre letras e números, a escala cresce e as coordenadas geográficas ficam mais precisas (Fig. 6).

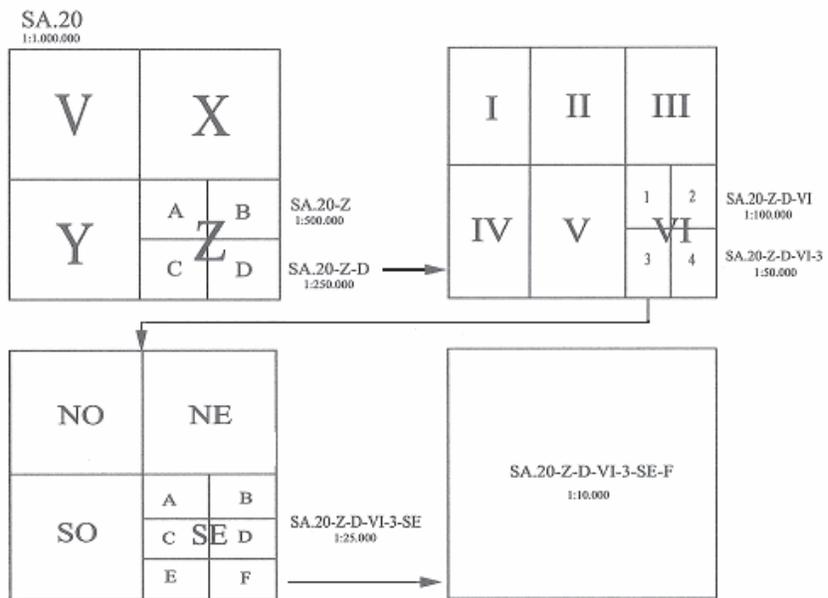


Fig. 6. Nomenclatura das cartas topográficas. Fonte: Miranda, 2005.

Capítulo 4

Dados em SIG

4.1. Qualidade dos dados

A qualidade dos dados de entrada do SIG é extremamente importante. Como diz um velho ditado computacional: “Garbage in ... garbage out”. Isso significa que o processamento de uma informação de baixa qualidade não produzirá uma melhor informação. Do esquema simplificado da Fig. 7 pode-se observar que se o dado de entrada for um **lixo**, após o processamento desses dados no SIG, obteremos tão somente um **lixo** mais organizado.

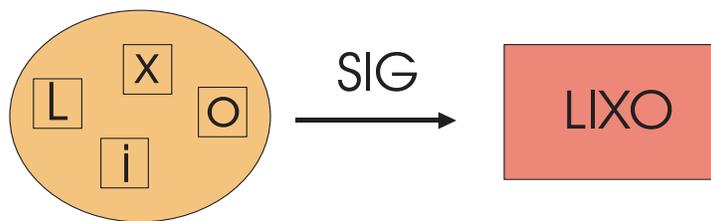


Fig. 7. Esquema simplificado sobre a qualidade dos dados no SIG. Fonte: Silva, 1999 (modificado).

4.2. Entrada de dados

Como já citado anteriormente, o SIG é uma ferramenta computacional e como tal, o sucesso de sua utilização depende da utilização consciente do usuário. A entrada de dados é uma etapa chave, em que um erro ou descuido por parte do usuário pode comprometer todo um trabalho, pois, em geral, ela demanda um tempo considerável, podendo chegar a 60-70% do tempo total do projeto.

As operações de entrada de dados são a conversão da informação que se encontra disponível em uma forma que as pessoas percebem ou reconhecem, ou que esteja gravada em um dispositivo automático, para uma forma adequada ao processamento numérico no computador (BURROUGH; MCDONNELL, 1998). E essa forma de dado com o qual o SIG trabalha, o formato digital, pode ser numérico ou alfanumérico.

4.3. Fonte de dados

Os dados georreferenciados geralmente utilizados como fontes são mapas e cartas, tabelas de atributos e imagens.

Um mapa ou carta é a representação convencional (em papel) ou digital da configuração da superfície topográfica. Embora muitos autores não façam distinção entre mapa e carta, segundo Silva (1998), mapa é a representação no plano, normalmente em escala pequena, dos aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície de uma figura planetária, delimitada por elementos físicos, político-administrativos, destinada aos mais variados usos, temáticos, culturais e ilustrativos; enquanto, carta é a representação no plano, em escala média ou grande, dos aspectos artificiais e naturais de uma área tomada de uma superfície planetária, subdividida em folhas delimitadas por linhas convencionais – paralelos e meridianos – com a finalidade de possibilitar a avaliação de pormenores, com grau de precisão compatível com a escala. Desta forma, mapa e carta se diferenciam, basicamente, em relação à sua escala de apresentação.

Cartas e mapas podem ser classificados quanto à natureza da representação em geral, temática e especial (SILVA, 1998). Na representação **geral** estão os documentos cartográficos elaborados sem um fim específico e estão subdivididos em cadastral, topográfica e geográfica.

Na **cadastral**, a representação é em escala grande (até 1:25.000) e normalmente é utilizada para representar cidades e regiões metropolitanas, nas quais a densidade de edificações e arruamento é grande.

Na **topográfica**, a carta é elaborada a partir de levantamentos aerofotogramétrico e geodésico original ou compilada de outras cartas topográficas em escalas maiores (de 1:25.000 até 1:250.000) e inclui os acidentes naturais e artificiais, em que os elementos planimétricos (sistema viário, obras, etc.) e altimétricos (relevo através de curvas de nível, pontos cotados, etc.) são geometricamente bem representados.

Na **geográfica**, os detalhes planimétricos e altimétricos são generalizados, os quais oferecem uma precisão de acordo com a escala de publicação (1:1.000.000 e menores).

Na representação **temática** estão as cartas, mapas ou plantas em qualquer escala, destinadas a um tema específico, necessário às pesquisas sócio-econômicas, de recursos naturais e estudos ambientais, distinguindo da representação geral, pois exprime conhecimentos particulares para uso geral (clima, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, unidades de relevo, uso do solo, atividades econômicas, escolar, etc.).

Na representação **especial** estão as cartas, mapas ou plantas para grandes grupos de usuários muito distintos entre si, e cada um deles, concebido para atender a uma determinada faixa técnica ou científica, sendo documentos muito específicos como, por exemplo, as cartas náuticas, aeronáuticas, para fins militares, mapa magnético, astronômico, meteorológico e outros.

Uma outra fonte de dados é a tabela de atributos, que se constitui de informações ou atributos de um objeto, que posteriormente será associado à sua localização geográfica no SIG. Por exemplo, temos as informações dos censos agropecuário e demográfico do IBGE para os municípios e estados do Brasil.

As imagens também são uma fonte de dados, captadas por sensores, geralmente, em satélite e a bordo de aeronave (fotografia aérea). Essas informações são utilizadas, por exemplo, na obtenção do uso e ocupação das terras.

4.4. Dados tratados em SIG

Os dados tratados em um SIG podem estar disponíveis em diversas formas, sendo essencial para tanto que eles estejam no formato digital. Assim, além dos mapas e cartas, tabelas de atributos e imagens, existem outros tipos de dados em SIG, tais como as redes e o modelo numérico de terreno.

As redes são elementos mapeáveis que estão associadas às entidades e representam, por exemplo, a malha urbana, rede de drenagem, rede elétrica, de telefonia, de água e esgoto e estradas, e cujos atributos estão presentes no banco de dados do SIG.

Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre, segundo Felgueiras & Câmara (2006). Frequentemente, o MNT também pode ser encontrado com a denominação de Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Numérico de Elevação (MNE) ou

Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET).

Miranda (2005), no entanto, define MNT como um caso específico dos MNE, de forma que se a elevação sobre uma superfície terrestre for a altura média acima do nível do mar, então ele será chamado de MNT.

Em geral, nesse tipo de representação a superfície é contínua, ou seja, representa grandezas que variam continuamente no espaço e o fenômeno que representa pode ser variado. Ele descreve, por exemplo, dados de relevo (altimetria, profundidade do mar ou de um rio, etc.), dados meteorológicos ou climáticos (precipitação, temperatura, etc.), dados geoquímicos e geofísicos, entre outros. Na Fig. 8 é apresentado um exemplo de MNT, com representação tridimensional.

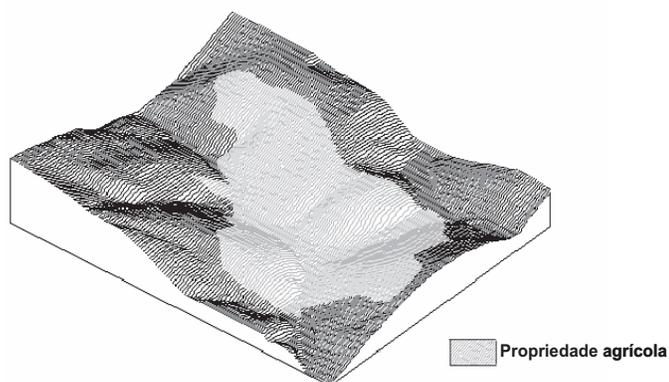


Fig. 8. Apresentação ilustrativa de um modelo numérico de terreno, de uma porção de área, incluindo os limites de uma propriedade agrícola. Fonte: Hamada et al., 1995 (modificado).

4.5. Métodos de captura de dados

A escolha de um método de captura é definida principalmente pelo orçamento disponível e pelo tipo de dado de entrada, segundo Meaden; Kapetsky (1991). Os métodos de captura são:

Teclado

As informações são digitadas via teclado, sendo este método, normalmente, utilizado para entrada de dados tabulares, como dados censitários, de cadastramento, de questionários de campo, etc.

Mesa digitalizadora

A mesa digitalizadora é normalmente utilizada para capturar informações de mapas. Ela é constituída de duas partes essencialmente: uma base ou superfície plana, em cujo interior se apresenta uma malha eletrônica, sobre a qual se coloca o mapa a ser digitalizado; e um mouse acoplado à mesa, que envia informações das coordenadas de um ponto na superfície da mesa para o programa computacional, o qual relacionará essas coordenadas e as coordenadas geográficas definidas no mapa.

“Scanner”

Aparelho com sensores ópticos que registram as informações de mapas e imagens em papel em arquivos em formato digital. O “scanner” de mesa é o mais comum e acessível. Existem também os “scanners” de tambor, indicados para mapas maiores, pois possibilitam produtos de melhor qualidade pela menor distorção nas imagens.

4.6. Estrutura de dados

Em mapas digitais, uma forma de descrever os relacionamentos espaciais é através da topologia. A topologia é um termo utilizado para se referir à continuidade do espaço e às propriedades espaciais (tais como a conectividade, a contigüidade e a definição de área, entre outros), que não são afetadas pela distorção contínua (BURROUGH; McDONNELL, 1998). Desta forma, a informação topológica ao descrever a relação espacial entre as características fornece a lógica que conecta os pontos, linhas e polígonos.

Esses elementos são utilizados para representar fenômenos geográficos no SIG e são definidos na estrutura dos dados.

A estrutura dos dados é o modo pelo qual as entidades geográficas são representadas e armazenadas em uma base de dados. Existem duas formas: o formato raster ou matricial e o formato vetorial. Vantagens e desvantagens dos formatos estão apresentadas na Tabela 3.

Formato matricial

O espaço é representado por uma malha ou grade de células quadradas ou retangulares, de valor numérico único. A dimensão da malha (ou grade) é definida por um número de linhas e colunas. A célula (ou "pixel") indica a unidade elementar (unidade de observação) da superfície do objeto de estudo. O tamanho dessa unidade elementar é denominada de resolução espacial, ou seja, a área de cada célula relativa à superfície da Terra. Os documentos matriciais são mais empregados em imagens de satélite, cartas escaneadas, modelos numéricos do terreno, etc.

Formato vetorial

No modo vetorial, o elemento fundamental de representação é o ponto. Um objeto pontual é descrito por um ponto. Uma linha, por sua vez, é descrita por uma sucessão de pontos, com um ponto inicial e um ponto final e um polígono é representado por uma linha fechada com os pontos inicial e final superpostos. Os atributos (dados temáticos) são geralmente descritos em um Sistema de Gerenciamento de Base de Dados (SGBD) e o SIG permite a ligação entre os objetos espaciais e os atributos. A estrutura dos arquivos é bastante compacta.

Tabela 3. Vantagens e desvantagens dos formatos raster e vetorial

FORMATO RASTER	FORMATO VETORIAL
Vantagens	
<ul style="list-style-type: none"> - Os dados possuem uma estrutura simples. - Operações de superposição ou combinação de planos de informação são facilmente e eficazmente implementadas. - Altas variabilidades espaciais são eficientemente representadas. - Permite operações matemáticas com precisão. - Operações de modelagem e simulação são facilitadas. - É apropriado para a análise das distribuições espaciais contínuas (temperatura, precipitação, densidade, cobertura vegetal, etc.). - Apresenta a mesma estrutura das imagens de sensoriamento remoto. 	<ul style="list-style-type: none"> - A estrutura de dados é compacta. - Permite uma codificação da topologia de forma eficaz. - A apresentação numérica e cartográfica dos dados se aproxima mais da forma da cartografia tradicional. - Boa precisão gráfica.
Desvantagens	
<ul style="list-style-type: none"> - A estrutura dos dados toma muito espaço de memória. - As relações topológicas são difíceis de serem representadas. - A percepção da realidade do terreno depende do tamanho da célula. - O produto final pode não ser esteticamente agradável. 	<ul style="list-style-type: none"> - A estruturação dos dados é complexa. - Operações de superposição ou combinação dos planos de informação são difíceis de serem implementadas. - A representação de alta variabilidade espacial não é eficaz.

Fonte: Burrough, 1986; Star; Estes, 1990; Silva, 1999 (modificados).

Capítulo 5

Exemplo de aplicação de geoprocessamento em planejamento das terras para agricultura irrigada

5.1. Estudo de caso: planejamento das terras para agricultura irrigada

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 (ABORDAGEM..., 2006), 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 Capítulo 40 “Informação para a tomada de decisões”, da Agenda 21 (INFORMAÇÃO..., 2006), 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.

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 diver-

sas áreas do conhecimento, incluindo o planejamento agro-ambiental, como exemplificados pelos trabalhos de Montas; Madramootoo (1992) e Stein et al. (1995).

A seguir, será apresentado o trabalho desenvolvido por Hamada et al. (1997), que utilizou SIG e SSD para alocação das terras de uso em agricultura irrigada. A área de estudo foi a bacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, no município de Iracemápolis, SP. O objetivo é a confecção mapas de adequação das terras para agricultura irrigada.

Nesse estudo foram utilizados o SIG Idrisi 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 era ocupada por cana-de-açúcar e pastagem, demonstrando ser a área essencialmente agrícola. A resolução espacial adotada foi de 20 metros.

Os mapas de entrada do SIG foram de uso e ocupação da terra (Fig. 9), Modelo Numérico de Terreno (Fig. 10) e de solos (Fig. 11), realizados por Bacellar (1994). A partir desses planos de informação iniciais foram gerados os mapas de declividade (Fig. 12) e de classificação das terras pelo sistema de capacidade de uso (Fig. 13). O sistema de capacidade de uso, segundo Lepsch et al. (1991), é uma metodologia que propicia o conhecimento das limitações e potencialidades das terras para utilização agrosilvipastoril. Ele é recomendado primordialmente para fins de planejamento de práticas de conservação do solo, em nível de propriedades ou empresas agrícolas, ou para pequenas bacias hidrográficas. Esses foram os mapas básicos neste estudo.

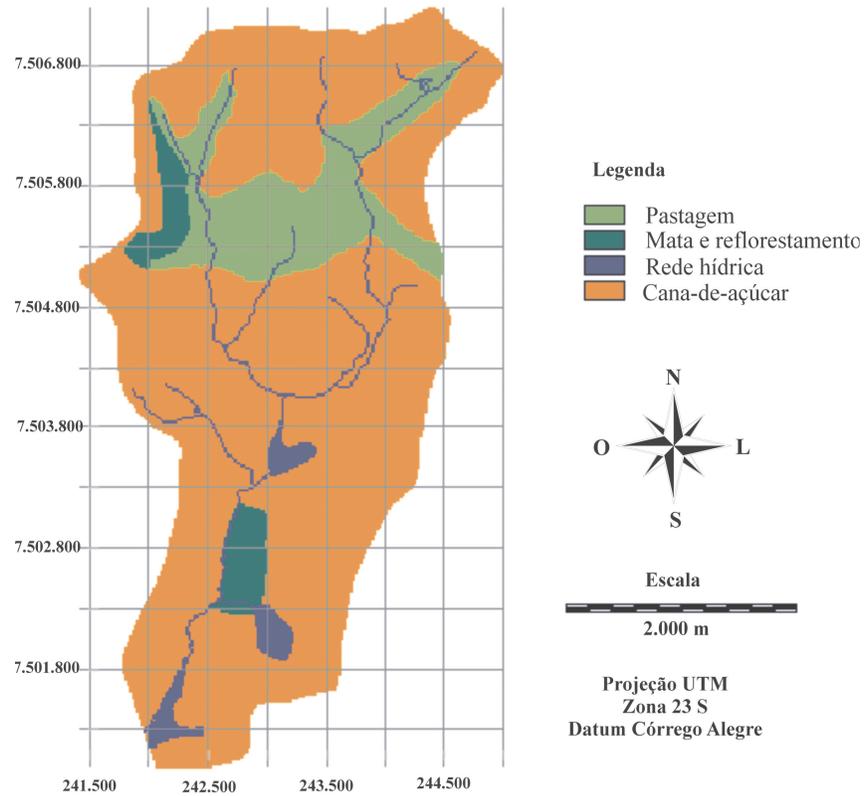


Fig. 9. Uso e ocupação da terra na microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, Iracemópolis – SP. Fonte: Bacellar,1994 (modificado).

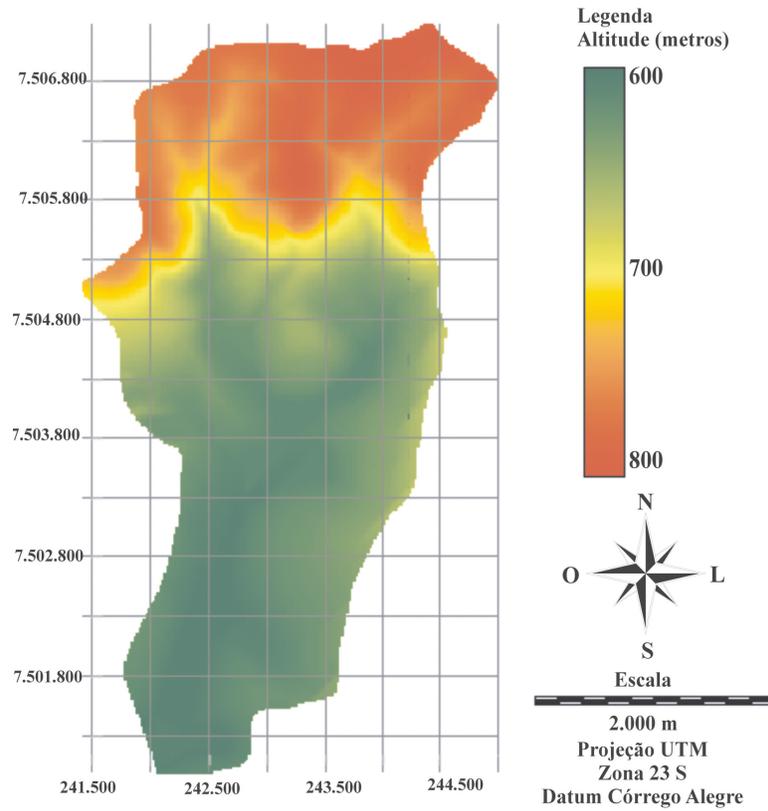


Fig. 10. Modelo Numérico de Terreno da microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, Iracemópolis – SP. Fonte: Bacellar, 1994 (modificado).

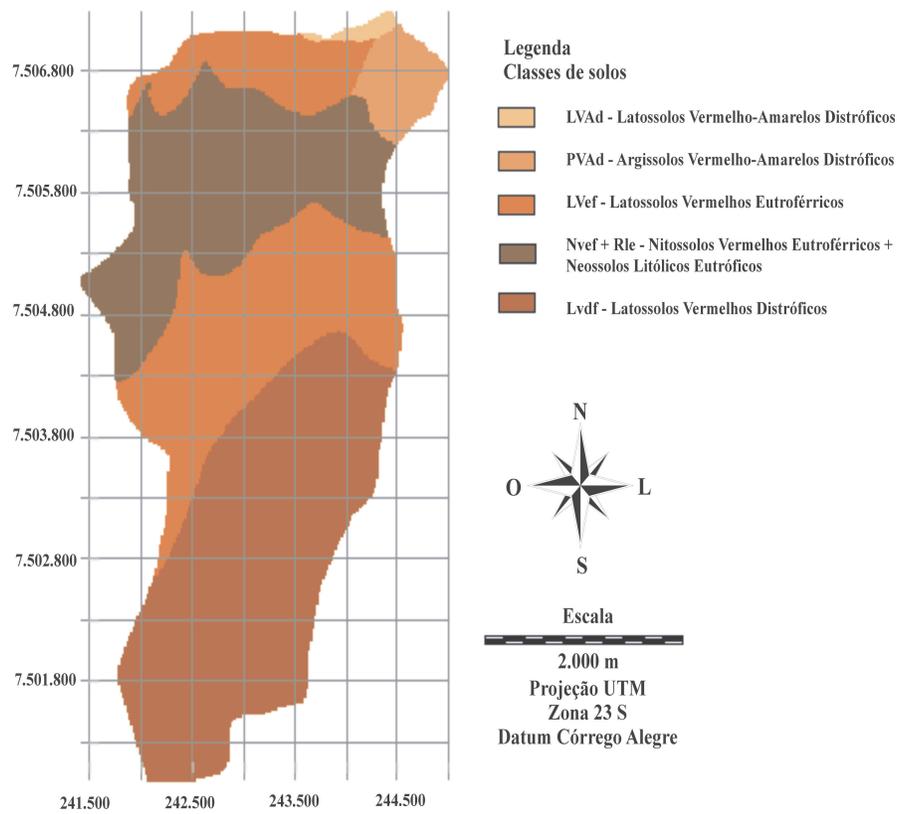


Fig. 11. Solos da microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, Iracemópolis – SP. Fonte: Bacellar, 1994 (modificado).

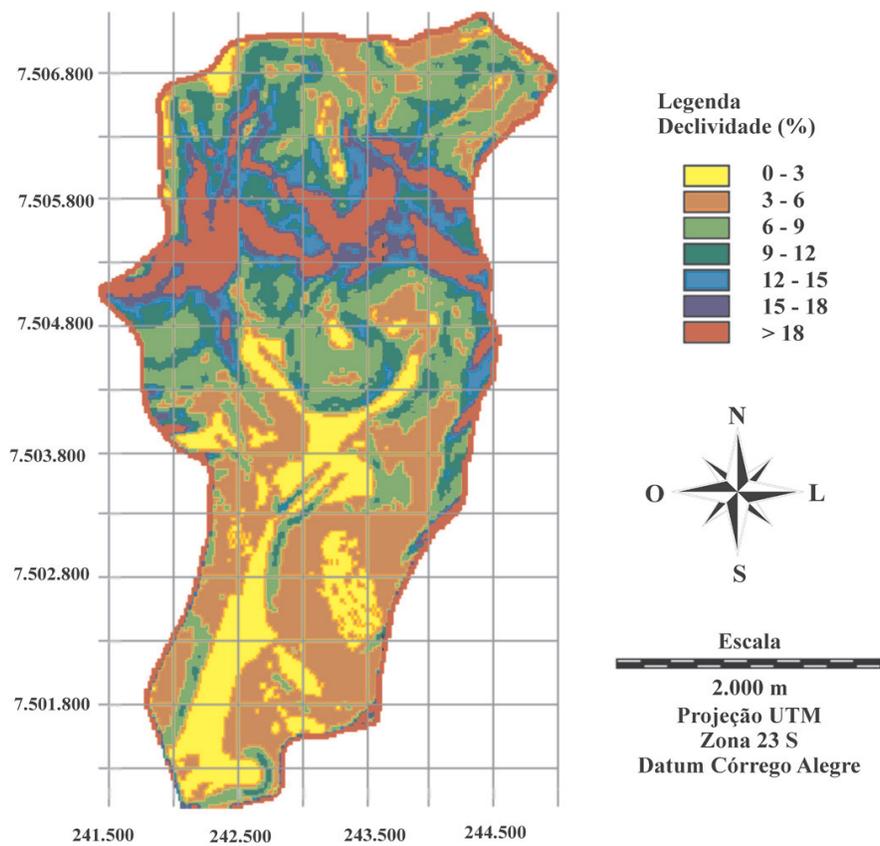


Fig. 12. Declividade da microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, Iracemópolis – SP.

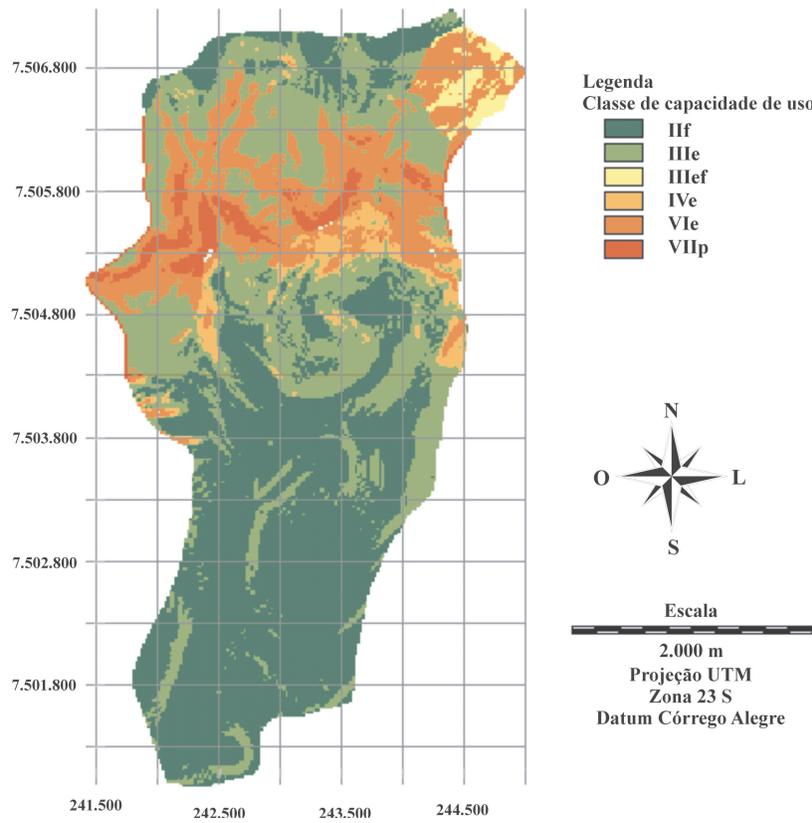


Fig. 13. Classificação das terras pelo sistema de capacidade de uso da microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, Iracemópolis – SP.

Tabela 4. Características das classes e subclasses de capacidade de uso presentes na microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, Itacemápolis – SP

CLASSE II	<p>Terras que têm limitações moderadas para o seu uso, por estarem sujeitas a riscos moderados de depauperamento, mas boas para poderem ser cultivadas, desde que lhes sejam aplicadas práticas especiais de conservação do solo, de fácil execução, para produção segura e permanente de colheitas entre médias e elevadas, de culturas anuais adaptadas à região. A declividade já pode ser suficiente para provocar enxurradas e erosão.</p> <p>Subclasse II_f: terras produtivas, planas ou suavemente onduladas, com necessidades de aplicações de corretivos e fertilizantes</p>
CLASSE III	<p>Terras próprias para lavouras em geral mas que, quando cultivadas sem cuidados especiais, ficam sujeitas a severos riscos de depauperamento, principalmente no caso de culturas anuais. Requerem medidas intensas e complexas de conservação do solo, a fim de poderem ser cultivadas segura e permanentemente, com produção média a elevada, de culturas anais adaptadas.</p> <p>Subclasse III_e: terras com declividades moderadas (6 a 9%), relevo suavemente ondulado a ondulado, com deflúvio rápido, com riscos severos à erosão quando o solo está descoberto de vegetação, podendo apresentar erosão laminar moderada e/ou sulcos superficiais e rasos freqüentes. Pode ocorrer também em terrenos com declives entre 3 a 6%, quando os solos forem muito erodíveis, como aqueles com mudança textural abrupta.</p> <p>Subclasse III_{ef}: inclui as características da subclasse III_e mais a necessidade de aplicações de corretivos e fertilizantes.</p>
CLASSE IV	<p>Terras que têm riscos ou limitações permanentes muito severas quando usadas para culturas anuais. os solos podem ter fertilidade natural boa ou razoável, mas não são adequados para cultivos intensivos e contínuos. Usualmente devem ser mantidas com pastagens, mas podem ser suficientemente boas para certos cultivos ocasionais ou para algumas culturas anuais, porém com cuidados muito especiais.</p> <p>Subclasse IV_e: terras severamente limitadas por risco de erosão para cultivos intensivos, geralmente com declividades acentuadas (9 a 12%), com deflúvio muito rápido, podendo apresentar erosão em sulcos superficiais muito freqüentes, em sulcos rasos freqüentes ou em sulcos profundos ocasionais; também é o caso de terrenos com declives entre 6 a 9%, mas com solos muito susceptíveis à erosão.</p>
CLASSE VI	<p>Terras impróprias para culturas anuais, mas que podem ser usadas para produção de certos cultivos permanentes úteis, como pastagens, reflorestamento e, em alguns casos, mesmo para algumas culturas permanentes protetoras do solo, desde que adequadamente manejadas. o uso com pastagens ou culturas permanentes protetoras deve ser feito com restrições moderadas, com práticas especiais de conservação do solo, uma vez que, mesmo sob esse tipo de vegetação, são medianamente susceptíveis de danificação pelos fatores de depauperamento do solo.</p> <p>Subclasse VI_e: terras que, sob pastagem (ou eventualmente, com culturas permanentes protetoras do solo), são medianamente susceptíveis à erosão, com relevo forte ondulado e declividades acentuadas (9 a 12%, ou 6 a 9% para solos muito erodíveis), propiciando deflúvio moderado e severo; dificuldades severas de motomecanização, pelas condições topográficas, com risco de erosão que pode chegar a muito severo; presença de erosão em sulcos rasos muito freqüentes ou sulcos profundos freqüentes.</p>
CLASSE VII	<p>Terras que, por serem sujeitas a muitas limitações permanentes, além de serem impróprias para lavouras, apresentam severas limitações, mesmo para certas culturas permanentes protetoras do solo, sendo seu uso restrito para pastagens e reflorestamento com cuidados especiais. Sendo altamente susceptíveis de danificação, exigem severas restrições de uso, com práticas especiais. Normalmente, são muito íngremes, erodidas, pedregosas ou com solos muito rasos, ou ainda com deficiência de água muito grande.</p> <p>Subclasse VII_p: terras pedregosas (mais de 50% de pedregosidade), com associações rochosas, solos rasos a muito rasos ou, ainda, com a agravante de serem constituídas por solos de baixa capacidade de retenção de água.</p>

Fonte: Lepsch et al., 1991.

A metodologia utilizada é denominada de **objetivo único e múltiplos critérios** e foi baseada em Eastman et al. (1993). Os critérios considerados foram compostos de uma restrição e três fatores. A restrição adotada foi que a análise deveria considerar somente as áreas ocupadas por pastagem e cana-de-açúcar no mapa de uso da terra. Observe-se que as faixas de proteção das margens dos cursos d'água não foram consideradas como critério de restrição neste trabalho, considerando a resolução espacial adotada neste trabalho (pixel de 20 metros). No entanto, salienta-se que é necessário atender à legislação ambiental e que todas as áreas de preservação permanente não podem ter uso agrícola.

Os fatores considerados foram:

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

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

Foram obtidos, inicialmente, os mapas de critérios (restrições e fatores). A restrição foi que somente as áreas ocupadas por pastagem e cana-de-açúcar deveriam 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. Obteve-se o mapa de distância dos cursos d'água, calculando a distância a partir de um grupo de "pixels" alvos que, neste caso, foi a rede hídrica.

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

De posse dos mapas de fatores padronizados, foi adotado o processo analítico hierárquico, baseado em pontuação. Estabelecem-se um conjunto de pesos aos fatores, em uma escala de valores, a fim de se estabelecer a importância relativa de cada fator com relação ao objetivo do trabalho (Tabela 5). Nesse

processo, o grupo de técnicos envolvido na decisão, utilizando os pesos estipulados na Tabela 5, fez o julgamento sobre a importância relativa dos fatores envolvidos, criando uma matriz de comparação de pares de fatores (Tabela 6). Os critérios na adoção desses pesos foram definidos pelos especialistas, segundo seus próprios entendimentos técnicos.

A taxa de consistência, definida por Saaty (1977), indica a probabilidade de que os pesos constantes da matriz foram aleatoriamente gerados. A matriz é considerada adequada ou consistente quando sua taxa de consistência é menor que 0,01, caso contrário, indica-se à volta da discussão ao grupo de técnicos a fim de modificar os pesos atribuídos aos fatores. Neste caso, a matriz apresentou taxa de consistência menor que 0,01, considerada, portanto, consistente.

Tabela 5. Escala de valores da importância relativa dos fatores

Importância negativa	Peso	Importância positiva	Peso
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).

Tabela 6. Matriz de comparação de pares de fatores

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

De posse da matriz, aplicou-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 foram multiplicados pelos pesos respectivos e, posteriormente, somados. Por fim, o mapa de adequação foi multiplicado pelo mapa de restrição, a fim de eliminar as áreas que não devem ser considerados no estudo.

O mapa de adequação apresentou todas as áreas possíveis de uso em agricultura irrigada, na escala de valores padronizada. A fim de selecionar, por exemplo, os melhores 500 hectares, não necessariamente contínuos, 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 (Fig. 14). Desta forma, foram obtidas as terras mais adequadas para a agricultura irrigada, segundo os critérios e pesos adotados pelos especialistas.

Observe-se que o emprego de SIG possibilitaria também a obtenção de outras informações, desde as mais simples como, por exemplo, calcular a área (% , ha, etc.) dos diferentes planos de informação e indicar práticas de manejo uniformizadas, graças à identificação das áreas homogêneas, até as mais complexas, tal como no planejamento da agricultura de precisão, em associação com outras informações.

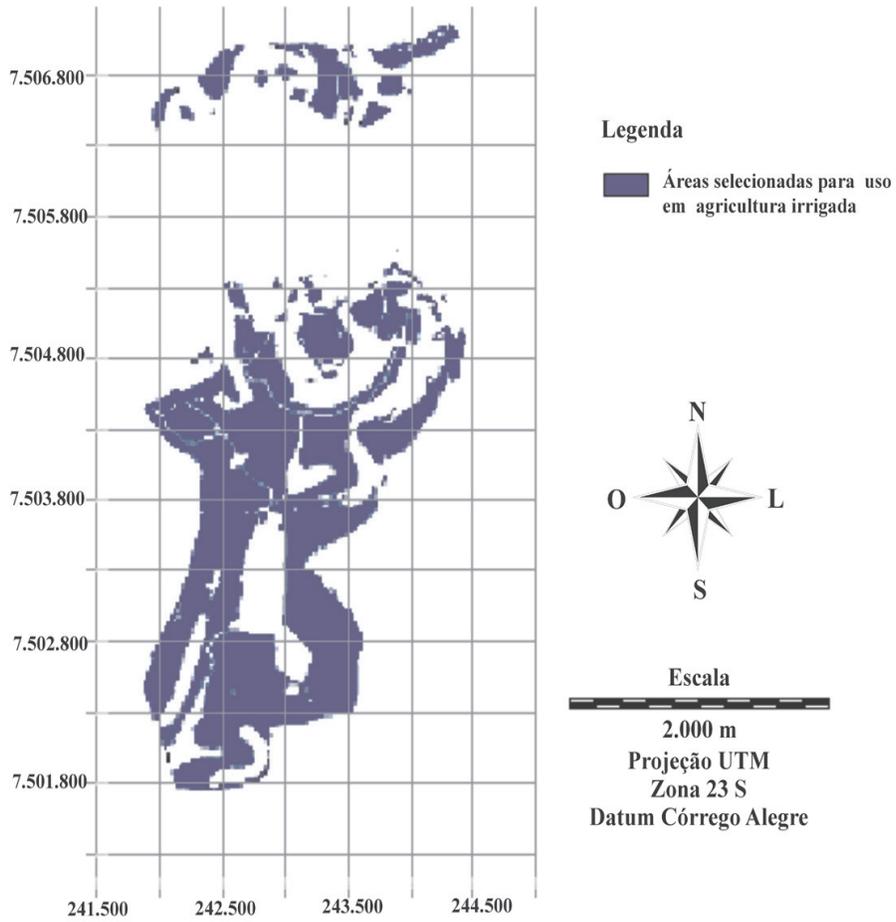


Fig. 14. Melhores 500 hectares para agricultura irrigada.

Esse trabalho demonstrou que a integração do SIG e de técnicas de SSD para a avaliação da adequação das terras para a agricultura irrigada apresenta inúmeras vantagens.

O SIG, ferramenta que possibilita a espacialização e o cruzamento dos dados, conjugado às técnicas de SSD participativa, permitiram reduzir a subjetividade introduzida nas 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.

Referências

ABORDAGEM integrada do planejamento e do gerenciamento dos recursos terrestres. In: CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. **Agenda 21**. cap. 10. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/cap10.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2006.

ABRANGES, G. **Sistemas de informação geográfica: conceitos**. 1998. Disponível em: <http://www.isa.utl.pt/dm/sig/sig/SIGconceitos.html#_Toc473971400>. Acesso em: 30 jan. 2007.

ANTENUCCI, J.C.; BROWN, K.; CROSWELL, P.L.; KEANY, M.J. **Geographic information system: a guide to the technology**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 301p.

ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989. 295p.

BACELLAR, A.A.A. **Estudo da erosão na microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha - município de Iracemápolis, utilizando um sistema de informação geográfica**: relatório técnico. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 1994. 30p.

BLACHUT, T.J.; CHRZANOWSKI, A.; SAASTAMOINEN, T.J. **Urban surveing and mapping**. New York: Spring-Verlag, 1979. 372p.

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.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: Unicamp, 1996. 197p.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

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

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

D'ALGE, J.C.L. Cartografia para geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Ed.). **Introdução à ciência da geoinformação**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2006.

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, 1993. 112p. (Explorations in Geographic Information Systems Technology Workbook, v. 4).

FAO. **Geographic information systems in sustainable development**. Disponível em: <<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/SUSTDEV/Eidirect/gis/Eigs000.htm>>. Acesso em: 14 fev. 2000.

FELGUEIRAS, C.A.; CÂMARA, G. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Ed.). **Introdução à ciência da geoinformação**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2006.

HAMADA, E.; CAVALIERI, A.; KUPPER, R.B.; ROCHA, J.V. Classificação das terras no sistema de capacidade de uso através do sistema de informação geográfica. **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v.20, n.1, p.188-195, 1995.

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: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória. **Anais...** São Paulo, 1997. v.1, p.689-695.

INFORMAÇÃO para a tomada de decisões. In: CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. **Agenda 21**. cap. 40. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/cap40.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2006.

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

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: J. Wiley, 1991. p. 9-20.

MEADEN, G.J.; KAPETSKY, J. M. **Geographical information systems and remote sensing in inland fisheries and aquaculture**. Rome: FAO, 1991. 262p. (FAO Fisheries Technical Paper, n. 318).

MIRANDA, J.I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425p.

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.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, San Diego, v.15, p.234-281, 1977.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI - Desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Noble / Fundap, 1993.

SILVA, A.B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1999. 236 p.

SILVA, I.F.T. (Coord.). **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. 128 p.

STAR, J.; ESTES, E. **Geographic information systems**: an introduction. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1990. 303p.

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

Embrapa

Meio Ambiente

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

