

# COMISSÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

## SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA OBTENÇÃO DE MAPAS DE APTIDÃO AGRÍCOLA E DE TAXA DE ADEQUAÇÃO DE USO DAS TERRAS<sup>(1)</sup>

A. R. FORMAGGIO<sup>(2,3)</sup>, D. S. ALVES<sup>(2)</sup> & J. C. N. EPIPHANIO<sup>(2,3)</sup>

### RESUMO

Nem sempre os usos dados aos solos correspondem à aptidão indicada e, quando há um sobreuso, podem advir problemas ligados à sua conservação. Atualmente, dispõe-se, além de mapas de solos, de dados de satélite de sensoriamento remoto com elevado poder de repetibilidade e de sistemas computacionais que permitem a manipulação de dados espacialmente distribuídos. Neste trabalho apresenta-se uma sistemática de aplicação do sistema de informações geográficas (SGI)/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) na determinação da aptidão agrícola (mapa de solos como origem) e na avaliação comparativa com o uso atual (imagens de satélite como origem). A área de estudo corresponde a 400km<sup>2</sup> na região de Leme (SP). Foram gerados onze planos de informação referentes aos fatores limitantes, para a determinação do mapa de aptidão agrícola via SGI/INPE. O uso atual foi mapeado pela interpretação de imagens do satélite Landsat-5. Com o cruzamento dessas informações via SGI/INPE, obteve-se o mapa de taxas de adequação de uso, mostrando que 17,5% da área de estudo se enquadrava nas classes baixa ou inadequada, devido a usos mais intensivos que os recomendados. As classes de aptidão agrícola, conjuntamente com as classes de uso da terra mapeadas via imagens de satélite e cruzadas através de sistemas de informações geográficas constituem excelentes ferramentas para o monitoramento periódico das taxas de adequação, principalmente quando se considera a dinâmica das variações dos usos das terras.

Termos de indexação: interpretação de mapas de solos, Landsat, sensoriamento remoto, SGI.

### SUMMARY: GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR MAPPING OF LAND USE SUITABILITY AND ADEQUACY OF LAND USE RATE

*Agricultural uses given to the soils not always match with recommended land suitability, and when over-use occurs some soil conservation problems arise. Nowadays, there are soil maps and satellites with good temporal resolution and computation systems that allow manipulation of the spatially distributed data (digital images). This paper shows a methodology that uses a geographic information system (GIS) of the "Instituto de Pesquisas Espaciais" (INPE) for assessing the land suitability (soil map as a source) and the comparative evaluation with the actual agricultural land use (satellite images as a source). Study area has 400 km<sup>2</sup> at Leme, State of São Paulo, Brazil. Eleven information planes referring to limitation factors were produced, for assessing land suitability via the*

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em setembro de 1991 e aprovado em abril de 1992.

<sup>(2)</sup> Pesquisador, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Caixa Postal 515, CEP 12201-970 São José dos Campos (SP).

<sup>(3)</sup> Bolsista do CNPq.

*GIS/INPE. Present use was obtained by interpreting TM/Landsat-5 images. By crossing these informations via GIS/INPE the land use adequacy rate map was assessed, showing that 17.5% of the study area are being over-used. Considerations are made about the use of land suitability methodology plus satellite images and plus geographic information system as interesting tools for periodic monitoring of the adequacy of agricultural land use, mainly when the dynamic of land use changing is considered.*

*Index terms: soil map interpretation, Landsat, remote sensing, GIS*

## INTRODUÇÃO

As perdas de solo por erosão são frequentemente causadas por uma utilização da terra mais intensiva do que elas poderiam suportar. A capacidade de suporte pode ser obtida pela determinação da aptidão agrícola (Ramalho Filho et al., 1978), a qual leva em consideração as características e as propriedades intrínsecas dos solos. O mapeamento de uma região quanto à aptidão agrícola ou capacidade de uso de suas terras serve de base ao planejamento de sua exploração racional, com base em conhecimentos científicos. Visa-se, principalmente, otimizar o uso dos solos, de maneira que permaneçam econômica e tecnicamente agricultáveis pelo máximo de tempo possível. As principais informações necessárias à obtenção da aptidão agrícola das terras podem ser propiciadas por dados de levantamentos de solos em escalas e níveis de detalhes intermediários.

A classificação da aptidão agrícola das terras constitui um método com base em critérios científicos para a orientação quanto ao uso dos recursos pedológicos de forma racional e otimizada, em nível de planejamento regional e nacional. O método inicial de classificação de aptidão agrícola das terras foi proposto por Bennema et al. (1964), no Brasil, como evolução dos trabalhos sistemáticos sobre interpretação de levantamentos de solos. Posteriormente adotado pela FAO e por vários países, foi, ao longo dos anos, sendo modificado e adaptado, de acordo com novas tecnologias e avanços obtidos nos casos em que foi sendo aplicado. O avanço mais significativo e mais abrangente foi a edição do "Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras" (Ramalho Filho et al., 1978), desenvolvido como parte dos estudos básicos para o planejamento agrícola, o qual está sendo adotado na interpretação de levantamentos de solos do Brasil.

Oliveira & Berg (1985), fazendo a avaliação da aptidão agrícola das terras da quadrícula de Araras (SP), utilizaram uma variação, adaptada às condições do Estado de São Paulo, do método preconizado pelo Serviço de Conservação do Solo norte-americano, resumizado por Klingebiel & Montgomery (1966) e também adotado no Brasil (Lepsch et al., 1983).

Basicamente, são considerados, no método de Oliveira & Berg (1985), os *fatores limitantes* e os *graus de limitação* de cada fator, bem como os *diferentes níveis de manejo*, para se chegar às *diferentes classes de aptidão*. Tais fatores correspondem a atributos da terra com influência direta no desenvolvimento das culturas e nos processos de amanho e conservação do solo. As classes de aptidão são em número de sete e designadas por números de I a VII. Quanto menor o número, mais intensivamente a terra

pode ser utilizada por tipos de culturas mais exigentes. Assim, as terras da Classe I apresentam aptidão boa para todos os usos agrícolas, uma vez que os solos são considerados praticamente sem limitações. Já para as terras da Classe VII, considera-se que não têm aptidão agrícola ou têm aptidão restrita para reflorestamento, uma vez que seus solos apresentam limitação forte ou muito forte quanto à disponibilidade de água, erosão e mecanização, e limitação moderada até muito forte quanto à disponibilidade de nutrientes.

A disponibilidade de um método semi-automático e não subjetivo para a obtenção da aptidão agrícola associado à verificação periódica da existência de conflitos entre o melhor uso possível e o uso real (atual) dado às terras agrícolas (adequação de uso) propiciaria meios às entidades conservacionistas governamentais para o monitoramento preventivo dos riscos associados ao sobreuso dos solos. Atualmente, as diferentes modalidades de informações temáticas de uma região podem ser armazenadas e manipuladas por sistemas de informações geográficas (SIG), que são bancos de dados específicos para informações codificadas espacialmente.

Desse modo, a premissa básica do presente trabalho é que o método de determinação da aptidão agrícola em conjunto com as potencialidades dos SIGs possa ser considerado uma abordagem bastante promissora para o monitoramento conservacionista ambiental. As vantagens, em relação aos métodos manuais de que se dispõe atualmente, residem principalmente na dinâmica e na maleabilidade que os SIGs permitem à manipulação de informações multitemáticas codificadas espacialmente, dada a versatilidade permitida pela informática.

Por outro lado, as imagens multiespectrais obtidas por satélites, como o Landsat e o Spot, já demonstraram vasta gama de utilidades no aumento do conhecimento, no manejo e no monitoramento dos recursos naturais terrestres (Pinto, 1991).

Assim, este trabalho foi desenvolvido visando, num primeiro passo, avaliar o Sistema de Informações Geográficas desenvolvido pelo INPE (SGI/INPE) quanto às possibilidades de obter a aptidão agrícola das terras a partir das informações fornecidas por levantamentos de solos. Com isto, visa-se estudar métodos semi-automáticos de determinação da aptidão agrícola das terras, contando-se apenas com dados de levantamentos de solos e de cartas planialtimétricas disponíveis. Visa-se, também, desenvolver um método de avaliação da taxa de adequação de uso das terras de modo semi-automático, através de sistemas de informações geográficas para

a integração dos dados pedológicos e de interpretação visual de imagens orbitais para uma avaliação do uso atual das terras.

## MATERIAL E MÉTODOS

**O Sistema de Informação Geográfica SGI/INPE** - Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é constituído por um conjunto de *ferramentas* para aquisição, armazenamento, recuperação, transformação e saída de dados espacialmente distribuídos. Estes dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos: (1) do posicionamento com relação a um sistema de coordenadas; (2) de seus atributos, e (3) das relações topológicas existentes. Por isso, um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e aos recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real (Burrough, 1986).

O Sistema de Informações Geográficas do INPE (SGI/INPE) é um sistema de baixo custo, baseado em microcomputadores PC de 16 "bits" e que utiliza, para o tratamento de imagens, o sistema SITIM, também desenvolvido no INPE, que permite manipular até quatro planos de 1024 x 1024 x 8 bits (Mendes et al., 1986; Erthal et al., 1988). No SGI/INPE, os dados correspondentes a uma região de estudo são agrupados num *Projeto*. Dentro do projeto, os dados de tipos diferentes, por exemplo, a altimetria, os tipos de solos e os limites de propriedades são armazenados em *Planos de Informação (PI)* distintos. O sistema permite manipular dados vetoriais e dados de varredura, derivar um dado a partir de outro (por exemplo, a declividade pode ser obtida a partir da altimetria), e sobrepor diferentes planos de informação para obter uma informação resultante das originais.

No SGI/INPE, o usuário opera com uma interface homem-máquina do tipo diálogo padronizado com múltiplas escolhas. O *menu* principal apresenta as operações numa seqüência lógica de uso. O SGI/INPE foi desenvolvido para funcionar de forma integrada com o software SITIM, que é um sistema para processamento e classificação de imagens (ENGESPAÇO, s.d.).

O SITIM manipula imagens de dois tipos: de satélite e temáticas. As primeiras são obtidas por sensores a bordo de satélites como o LANDSAT, o SPOT, o NOAA e o GOES; as imagens temáticas podem ser geradas de duas maneiras: por classificação de imagens digitais de satélite ou por geração via SGI. Dessa forma, imagens do SITIM podem ser diretamente transferidas para o SGI, a fim de utilizar imagens de satélite para superpor dados cartográficos, ou para gerar mapas temáticos a partir de imagens de satélite classificadas. Da mesma maneira, os planos de informação (PIs) do SGI/INPE podem ser incorporados ao SITIM. Como uma cena de satélite tem, usualmente, um conjunto de bandas espectrais, cada uma delas corresponderá a um plano de infor-

mação distinto no SGI e poderá ser tratada separadamente das demais.

**Área de estudo e fases de procedimento** - A área de estudo selecionada situa-se na região centro-oeste do Estado de São Paulo, no município de Leme e imediações, e abrange uma superfície de 20 x 20km, tendo as seguintes coordenadas: 22°1'38"S a 22°12'27"S e 47°17'9"W a 47°28'47"W.

O método empregado para se chegar aos planos-resultados da aptidão agrícola e da adequação de uso seguiu o fluxograma mostrado na figura 1. Por ele, pode-se verificar que o método é subdividido em cinco fases principais:

**FASE (A):** Preparação dos planos de informação (PIs): nesta fase, a partir do mapa e do relatório de levantamento de solos (Oliveira et al., 1982), extraem-se alguns dos fatores limitantes (sendo cada fator limitante considerado como um plano de informação) e os respectivos graus de limitação. No presente caso, houve os seguintes PIs: PI ÁGUA (disponibilidade de água na zona de enraizamento); PI FOSF (fixação de fósforo); PI TAL (toxicidade de alumínio); PI PROF (profundidade efetiva dos solos); PI DREN (drenagem interna/excesso de água); PI BASE (disponibilidade em nutrientes (bases)). Além desses, foi criado o PI SOLO, que continha o mapa de solos propriamente dito.

**FASE (B):** a partir de uma carta planialtimétrica, obtêm-se manualmente as classes de declividade, as quais, após digitalizadas, passam a constituir mais um plano de informação. Unindo-se essas classes de declividade (DECL) por mancha de solos, tem-se a distribuição das declividades dentro das manchas de solos. Este procedimento foi adotado com a finalidade de evitar a ocorrência de uma compartimentação excessiva no momento de superpor todos os PIs componentes da aptidão agrícola.

**FASE (C):** contando-se com o PI DECL e mais um conjunto de variáveis extraídas do relatório de levantamento de solos (relação textural, transição abrupta, relação de erosão, permeabilidade interna, lançante, porcentagem de declive, espessura do solum e encharcamento do terreno), obtêm-se os PIs erodibilidade (EROD) e mecanização (MECA).

**FASE (D):** Obtenção da aptidão agrícola. Consiste basicamente na manipulação dos diversos PIs disponíveis, através da construção de um conjunto de regras para cruzar os planos de informação mediante operações lógicas "E" e "NÃO" entre as classes de interesse. As operações entre as classes devem ser definidas através de um arquivo de regras em ASCII. O quadro 1 explicita um exemplo de arquivo de regras. Este arquivo indica as necessárias combinações de classes dos PIs (a serem cruzados) para que se tenham as classes finais do PI resultado desejado. Devido às características da região de estudo, considerou-se que o nível de manejo era alto.

**FASE (E):** Obtenção da taxa de adequação de uso das terras. A partir de imagens orbitais (TM/Landsat e/ou SPOT) e com o auxílio de trabalhos de verificação de campo, chega-se às classes de uso atual das terras

**Quadro 1. Exemplos de "equações" do arquivo de regras utilizado para o cruzamento dos PIs e obtenção das classes de aptidão**

Classes de aptidão	Combinções dos vários fatores limitantes respectivos graus de limitação <sup>(1)</sup>
III =	s2 z3 w2 p4 v3 a2 d1 h1 e3 m3
IV =	s2 z4 w2 p4 v3 a2 d1 h1 e4 m4
V =	s3 z3 w4 p1 v3 a4 d2 h1 e4 m3
(...)	(...)

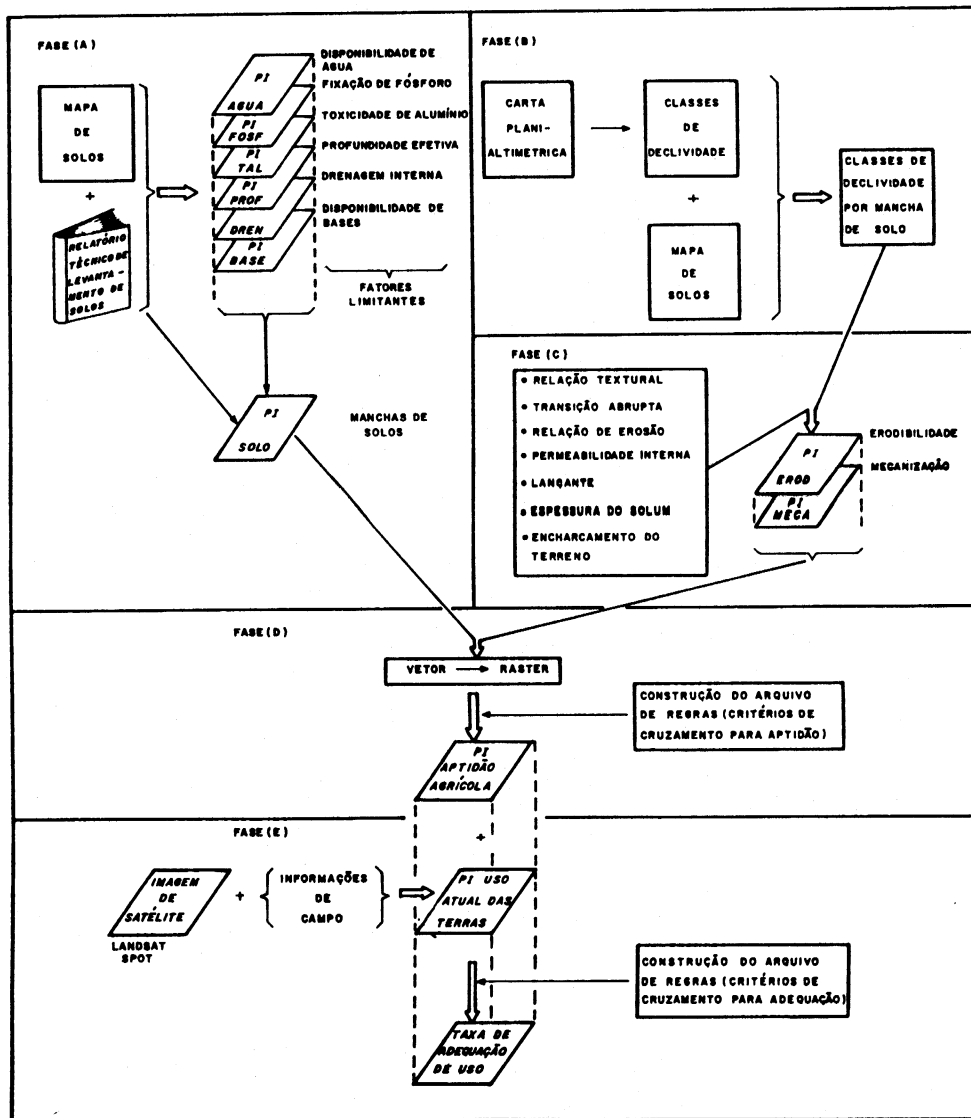
(1) s, z, w, p, v, a, d, h, e e m referem-se, respectivamente aos fatores limitantes: tipo de solo, classe de declividade, disponibilidade de água na zona de enraizamento, fixação de fósforo, disponibilidade em nutrientes (bases), toxicidade de alumínio, profundidade efetiva, drenagem interna, erodibilidade e mecanização agrícola. Os números indicam o grau de limitação do fator. No caso do condicionante "s", cada número corresponde a uma das 21 unidades diferentes de solos existentes.

(plano de informação US86, no presente trabalho, que representa o uso do solo em 1986), num nível de detalhamento compatível com a escala de trabalho e com os produtos de sensoriamento remoto disponíveis.

No presente trabalho, os tipos de usos que efetivamente vêm sendo dados às terras da área de estudo foram classificados, segundo Covre et al. (1987), em: áreas urbanas, corpos d'água, pastagens, culturas temporárias, capoeiras, matas, cana-de-açúcar e citros.

Considerando as possibilidades de exploração racional e científica indicadas pelas classes de aptidão agrícola e os usos efetivos que vêm sendo dados às terras, foi elaborado o quadro 2, que orientou a construção do arquivo de regras para a obtenção das classes de taxas de adequação de uso. Foram consideradas as seguintes classes de taxas de adequação:

Classe "A" - Alta taxa de adequação de uso (quando as terras estavam sendo ocupadas por usos menos



**Figura 1. Fluxograma do método empregado**

exigentes que o da classe de aptidão, ou seja, não estava havendo riscos ou problemas de conservação em função do uso atual e da classe de aptidão);

Classe "M" - Moderada taxa de adequação de uso (quando as terras estavam sendo ocupadas por usos moderada ou satisfatoriamente adequados às classes de aptidão, ou seja, os usos atuais podiam acarretar algum risco ligado à conservação das terras);

Classe "B" - Baixa taxa de adequação de uso (quando as terras estavam sendo ocupadas por usos pouco adequados às classes de aptidão, ou seja, quando os usos atuais apresentavam significativos riscos conservacionistas);

Classe "I" - Uso atual inadequado (quando as terras estavam sendo ocupadas por culturas cujas exigências agrônômicas e de práticas de manejo/conservação excediam as aptidões dos solos em questão; provavelmente, o uso continuado com tais culturas deverá trazer sérios problemas conservacionistas a curto e a médio prazos).

De posse do mapa de taxa de adequação de uso, foram feitas avaliações quantitativas relativas aos montantes de áreas adequadas ou inadequadamente utilizadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Obtenção das Classes de aptidão agrícola

Seis PIs foram obtidos diretamente a partir do PI SOLO: ÁGUA, FOSF, BASE, DREN, PROF e TAL. As classes de declividade foram lançadas numa base cartográfica de tal modo que os limites das manchas de solo foram mantidos, obtendo-se, então, como foi dito, as classes de declividade por mancha de solo. Dessa maneira, os PIs mecanização e erodibilidade também têm como base os limites de solos. Fica evidenciado, então, que a unidade básica considerada adequada, no presente método, é a unidade de mapeamento pedológico.

Este procedimento, além de facilitar a fase de entrada dos dados no SGI/INPE, propicia uma segmentação adequada e compatível no momento do cruzamento dos vários PIs intermediários para a obtenção dos PIs-resultados (aptidão e taxa de adequação de uso). Tentou-se, primeiro, obter as classes de declividade via MNT (modelo numérico do terreno); porém, ao realizar o fatiamento, via SGI/INPE, ocorreu uma compartimentação excessiva da área em um número muito grande de classes de declividade. Isto, evidentemente, traria, no momento do cruzamento dos vários PIs componentes, uma compartimentação excessiva e daria como resultado um número também excessivo de classes de aptidão. Além disso, várias dessas classes ("manchas") teriam um tamanho muito pequeno, e esta solução não seria compatível com a escala de abrangência do método de avaliação da aptidão agrícola das terras, o qual foi concebido para planejamentos conservacionistas em escalas regionais.

A alternativa efetivamente aqui usada traz como vantagem o fato de manter todas as linhas/limites das manchas de solos. Apenas nos casos em que uma unidade do mapa de solos seria subdividida em duas ou mais manchas de declividade, decidia-se pelo acréscimo dos respectivos limites dentro daquela área. Este procedimento foi favorável na fase de cruzamento dos vários PIs, dado que a maioria dos limites pedológicos permaneceu e estava de acordo com os limites dos outros PIs derivados diretamente do PI SOLO. Na figura 2, é apresentada a carta de aptidão agrícola, resultado do cruzamento dos vários planos de informação, via SGI.

Para o cruzamento dos 10 PIs-componentes necessários à obtenção do PI-resultado APTIDÃO, há necessidade de um *arquivo de regras* criado a priori e que contemple todas as possibilidades de combinação de classes constituintes dos PIs em questão no caso em estudo. Essa exigência faz com que o usuário seja obrigado a realizar um exercício de verificação de todas as equações possíveis para cada caso, a fim de tomar a decisão sobre qual classe do PI-resultado será atribuída para cada equação. A título de exemplo, ver o quadro 1.

Quadro 2. Indicações da taxa de adequação de uso em função das classes de aptidão agrícola e das classes de uso da terra

Classes de aptidão	Classes de uso							
	Área urbana	Corpos d'água	Pastagens	Cult. temp.	Capoeiras	Cana	Mata	Citros
I	A*	A*	A	A	A	A	A	A
II	A*	A*	A	M	A	A	A	A
III	A*	A*	A	B	A	M	A	A
IV	A	A	M*	B*	A*	M*	A*	M*
V	A	A	M*	I*	A*	M*	A*	M*
VI	A	A	B*	I*	A*	B*	A*	B*
VII	A	A	I*	I*	A*	I*	A*	I*

A, M e B = taxas de adequação de uso como alta, moderada e baixa respectivamente; I = uso atual inadequado.

\* Casos que efetivamente ocorreram na área de estudo.

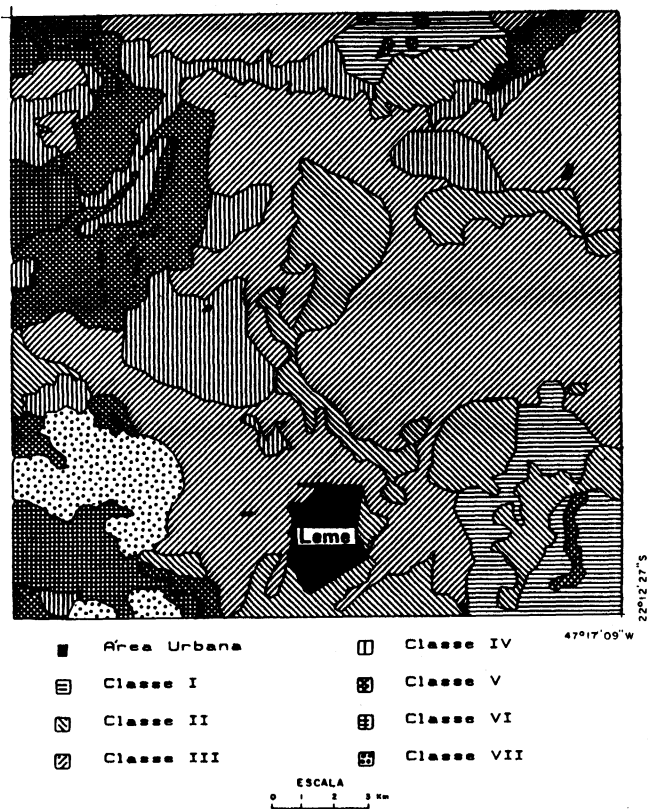


Figura 2. Carta de aptidão agrícola da área de estudo, obtida via SGI/INPE.

Sugere-se que se implemente uma maneira de se obter a priori (ou seja, antes da elaboração do arquivo de regras), através do SGI, uma listagem de todas as possíveis combinações de classes dos vários PIs para cada caso em estudo. De posse dessa listagem, o usuário teria melhores condições de decidir qual a classe de aptidão mais adequada para cada equação, através do arquivo de regras.

Assim, é bastante provável que o SGI possa vir a tornar-se um instrumento para modelagem e simulação através do emprego de dados pedológicos, topográficos e multitemáticos, visando integrar informações multifonte para o adequado manejo do ambiente na superfície terrestre.

Esses aspectos da modelagem e simulação ligados ao manejo da paisagem superficial são, aliás, um dos grandes pontos de vantagem dos sistemas geográficos de informações em relação à armazenagem tradicional de dados temáticos em mapas de papel (estáticos e de manipulação complexa e muito morosa). Dada a dinâmica das modificações (naturais e/ou antrópicas) do modelado paisagístico de superfície de determinada área, e tendo-se já os dados multitemáticos/multifonte armazenados num SGI, é razoável vislumbrar que deverá haver grandes facilidades de manipulação dessas informações (mudanças de escalas/resoluções, ponderações, simulações, modelagens, etc.), de modo a se tornar possível emular previsões a respeito do que poderia vir a ocorrer, caso determina-

dos manejos e/ou modificações viessem a ser implementados nesta área, conforme indicação de Burrough (1986).

#### Obtenção da taxa de adequação de uso

O mapa da taxa de adequação de uso - Figura 3- foi obtido pelo sistema de saída gráfica do SGI/INPE. Dadas as facilidades e a maleabilidade do SGI/INPE, é possível mudar os critérios da adequação de uso (Quadro 2), conforme a rigidez e as ponderações que o usuário queira imprimir aos seus cuidados conservacionistas. Novamente, ressalta-se esta importante vantagem dos SGIs para os monitoramentos dos cuidados de conservação dos solos.

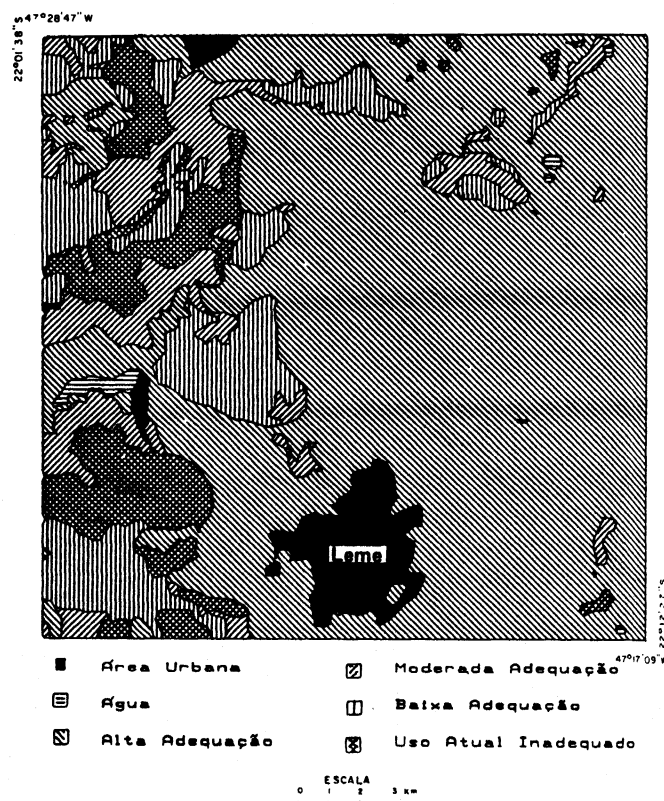


Figura 3. Mapa de taxas de adequação de uso, obtido via SGI/INPE.

Em vez de desenhar a tabela de critérios (Quadro 1) a priori, sugere-se estudar a possibilidade de o SGI fornecer uma listagem de todas as possibilidades de intersecções (quando se cruzam dois ou mais PIs), a fim de que o usuário elabore o arquivo de regras necessário a posteriori.

Em relação à avaliação quantitativa referente à taxa de adequação do uso atual dado pelos agricultores às suas terras na área de estudo, conforme método aqui apresentado, obtiveram-se os dados do quadro 3: seus números demonstram que cerca de 82,5% (con-

**Quadro 3. Situação das terras agrícolas da área de estudo quanto à taxa de adequação de uso, obtida via SGI/INPE**

Classes de taxa de adequação de uso	Área	
	ha	%
Alta	30.136	75,3
Moderada	2.888	7,2
Baixa	3.824	9,6
Inadequada	3.152	7,9

siderando as taxas de adequação "alta" e "moderada" apenas) das terras estão sendo utilizadas de modo correto e segundo as suas aptidões intrínsecas. Ou seja, nestas áreas pode-se indicar que não deverão ocorrer problemas de conservação dos solos em função de erosão ou de exaustão químico-nutricional, caso os agricultores mantenham esses tipos de uso.

Em relação aos 17,5% restantes, no entanto, há a necessidade de fazer revisões das tendências de exploração agrícola atuais destas terras, já que estão tecnicamente incorretas, considerando-se os critérios empregados neste trabalho. Como exemplo, podem ser citados casos de áreas com classe VII de aptidão sendo utilizadas com pastagens, com cana-de-açúcar e até com culturas temporárias (Quadro 2).

Embora o mapa de classes de declividade não tenha sido apresentado, verificou-se também que as inadequações de uso se localizam nas partes de relevo mais movimentado da área de estudo (ou seja, nas partes ocidentais), onde os solos são mais suscetíveis à erosão, em função da presença de horizontes argílicos e conseqüentes gradientes texturais.

Não foram feitas verificações locais quanto a aspectos de cuidados e de práticas conservacionistas desenvolvidas pelos agricultores em suas terras; há, porém, fortes indicativos de que nestes 17,5% deve estar ocorrendo uma sobreutilização das terras. Isso, evidentemente, deverá acarretar problemas de perdas de solos por erosão. Para efeitos comparativos, Pinto et al. (1989), utilizando imagens TM/Landsat para uma área no centro-leste paulista (parte do município de Conchal), verificaram que cerca de 16,5% da área apresentava desconformidade entre o uso da terra e o uso recomendado pela aptidão agrícola.

Essas duas taxas de conflito (uso atual x aptidão agrícola) demonstram que efetivamente ocorrem discrepâncias numa quantidade razoável (16,5% numa área e 17,5% noutra) no Estado de São Paulo. Dessa maneira, fica realçada a necessidade de monitoramento periódico dessas discrepâncias e de incentivos práticos a iniciativas de crescente adequação.

É neste contexto de prevenção, em lugar de simples correção post facto, que se inseriria a atuação de um sistema de verificação da taxa de adequação de uso baseado em SGI, ou seja, um monitoramento contínuo e preventivo, uma vez que, após a exaustão

e o desgaste das terras pela erosão, normalmente há um custo de recuperação muitas vezes maior do que o possível retorno financeiro advindo de sua exploração agrícola posterior.

## CONCLUSÕES

1. Os sistemas de informações geográficas constituem, atualmente, uma das mais modernas e promissoras tendências de armazenamento e manipulação de informações temáticas sobre recursos naturais terrestres, em complemento e até em substituição aos mapas impressos em papel, de difícil manipulação. No presente trabalho, considerou-se comprovada a possibilidade de se obter um mapa de aptidão agrícola das terras de determinada área de interesse, de maneira semi-automática, ou seja, através da digitalização dos planos de informação e da posterior integração e manipulação destes dados por meio de regras adequadas.

2. Numa primeira visada, os resultados podem ser considerados bastante convincentes e o SGI/INPE mostrou um desempenho muito bom para os objetivos inicialmente desenhados.

3. O sistema de verificação da taxa de adequação do uso das terras aqui obtido também se mostrou bastante útil. Através de interpretações quanto ao uso atual (obteníveis a partir de imagens de satélites, via classificação automática ou interpretação visual) e cruzando-se esta informação com a real aptidão agrícola das terras de uma região, pode-se obter uma estimativa de quão adequadamente estão sendo utilizados seus solos.

4. Considerando a dinâmica de variação do uso das terras, as imagens de satélite, interpretadas adequadamente, constituem excelente ferramenta para, em conjunto com a aptidão agrícola e um sistema de informações geográficas, verificar a adequação de uso das terras de uma região. Somente a partir de informações fidedignas quanto à adequação de uso seriam viáveis medidas governamentais de estímulo à intensificação de práticas conservacionistas nos locais onde os riscos detectados sejam maiores.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Engenheiros-Agrônomos Manuel J. Ortiz e Getúlio V. Assunção o apoio computacional na elaboração deste trabalho.

## LITERATURA CITADA

- BENNEMA, J.; BEEK, K.J. & CAMARGO, M. Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para "levantamentos de reconhecimento dos solos". Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1964. 60p.
- BURROUGH, P.A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford, Clarendon Press, 1986. 193p.

- COVRE, M.; VEIGA, C.B.S.; MORGADO, M.; SANTOS, R.; RODRIGUES, R.L.V.; FARIA, K.; MENDONÇA, F.J. & GEWANDSZNADJER, F. O impacto da produção canavieira no desenvolvimento dos municípios de Araras, Leme, Santa Cruz da Conceição e Pirassununga. In: ENCONTRO NACIONAL DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO PLANEJAMENTO URBANO, 1., Campos do Jordão, 1987. Anais. São José dos Campos, INPE, 1987. p.114-130.
- ENGESPAÇO. SITIM - Sistema de informações geográficas: manual do usuário. Versão 2.0. São José dos Campos, Engespaço, s.d., 135p.
- ERTHAL, G.J.; ALVES, D.S. & CÂMARA, G. Modelo de dados geo-relacionais: uma visão conceitual de um Sistema Geográfico de Informações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 1., Petrópolis, abr., 1988. Anais. São José dos Campos, INPE, 1988. p.2-10.
- KLINGEBIEL, A.A. & MONTGOMERY, P.H. Land-capability classification. Washington, USDA, 1966. 21p. (Agricultural Handbook, 210)
- LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D. & ESPÍNDOLA, C.R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.
- MENDES, C.; GARRIDO, J.; CÂMARA, G. & SOUZA, R. Evolução da família de sistemas de tratamento de imagens do INPE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., Gramado, 1986. Anais. São José dos Campos, INPE, 1986. p.554-557.
- OLIVEIRA, J.B. & BERG, M. Aptidão agrícola das terras do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras. Campinas, Instituto Agronômico, 1985. 60p. (Boletim técnico, 102)
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; BARBIERI, J.L.; ROTA, C.L. & TREMOCOLDI, W. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras. Campinas, Instituto Agronômico, 1982. 180p. (Boletim técnico, 71)
- PINTO, S.A.F. Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica. São Paulo, Universidade de São Paulo-USP, 1991. 130p. (Tese de Doutorado)
- PINTO, S.A.F.; VALÉRIO FILHO, M. & GARCIA, G.J. Utilização de imagens TM/Landsat na análise comparativa entre dados de uso da terra e de aptidão agrícola. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13:101-110, 1989.
- RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E.G. & BEEK, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. Brasília, SUPLAN/EMBRAPA, 1978. 70p.