

# GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE AMBIENTAL

Jorge Xavier da Silva\*

---

## INTRODUÇÃO

---

A vivência dos agudos problemas ambientais existentes no Brasil configurou os conhecimentos que agora nos fazem escrever o presente texto. Conhecimentos adquiridos por um pesquisador de problemas ambientais existentes fora do chamado "primeiro mundo" talvez não possam gerar contribuições de grande alcance. É possível, no entanto, que algumas de nossas assertivas consigam despertar alguém para a análise de alguns aspectos relevantes da presente condução da pesquisa ambiental, hoje fortemente associada aos desenvolvimentos tecnológicos da teledetecção e do processamento automático de dados.

A metodologia clássica de aquisição de dados ambientais sempre dependeu de amostragens e tratamentos estatísticos inferenciais. Os problemas ambientais exigem coleta de registros de eventos que ocorrem sobre vastas áreas. Este fato forçava o recurso a inspeções de situações previamente definidas como críticas e representativas do quadro ambiental am-

plado a ser analisado. Plano de amostragem em linha e em área e técnicas geoestatísticas de análise multivariada constituíam as soluções metodológicas dominantes, com as quais se procurava adquirir conhecimentos sólidos sobre a realidade ambiental. Esta perspectiva sempre esbarrou no problema da natureza intrínseca dos registros ambientais, em particular na necessidade de serem tratados, em uma mesma análise ambiental, eventos registrados em diferentes escalas de medição - nominais, ordinais de intervalo e razão, em ordem de sofisticação. Técnicas de estatística paramétrica, somente são estritamente aplicáveis a dados medidos nas duas escalas mais avançadas citadas acima. A parametrização de problemas ambientais foi muitas vezes tentada com a associação de medições nas escalas de intervalo e razão a eventos ambientais que, na realidade, estavam se manifestando na singela escala nominal. As deformações excessivas tornam-se inevitáveis, nesses casos, gerando-se, assim, modelos por vezes elegantes e consistentes, porém "flutuantes", isto é, não correspondentes à realidade ambiental analisada.

---

\*Professor Titular, Coordenador do Grupo de Pesquisas em Geoprocessamento do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.

O desenvolvimento das técnicas de sensoriamento remoto de base orbital propiciou uma visão sinótica dos problemas ambientais. A aplicação maciça de técnicas de processamento eletrônico de dados, naturalmente associada à captura de dados ambientais referentes a vastas porções da superfície terrestre e, em particular, os recentes desenvolvimentos da microcomputação e do processamento gráfico, tornaram exequível que uma alternativa metodológica para os problemas ambientais passasse a existir. Tornaram-se possíveis investigações sistemáticas de todas as unidades territoriais onde seja suposto que estejam registrados eventos ambientais de interesse. Ocorrências por vezes insuspeitadas passaram a ser registradas. Denominamos esta alternativa metodológica, em contraste com a metodologia clássica de inspeção localizada, de metodologia de varredura. O presente texto almeja mostrar uma forma de operacionalização desta metodologia de varredura na pesquisa ambiental, através do uso de procedimentos inteiramente acessíveis aos investigadores ambientais, dos pontos de vista conceitual ou tecnológico.

---

## GEOPROCESSAMENTO

---

Para atender eficientemente o problema da expressão da territorialidade dos fenômenos ambientais tem sido desenvolvido um conjunto de técnicas que atualizam processamento de dados. Esse conjunto, denominado "geoprocessamento de dados ambientais" ou, mais sinteticamente, "geoprocessamento", destina-se a tratar os problemas ambientais levando em conta a localização, a extensão e as relações espaciais dos fenômenos analisados, visando a contribuir para a sua presente explicação e para o acompanhamento de sua evolução passada e futura. Usa para isso recursos computacionais modernos que permitam tratar eficientemente os numerosos e diversificados dados ambientais disponíveis. Com menor eficiência em termos de precisão e rapidez, tais problemas, presumivelmente, poderiam ser tratados por procedimentos quantitativos ou qualitativos mais convencionais, sem o uso do computador. Tal abordagem não é exequível, em

termos práticos, atualmente, quando a abundância e a diversidade de dados ambientais tendem a preocupar e a confundir o pesquisador.

Podemos formalmente tentar definir geoprocessamento como sendo um ramo do processamento de dados que opera transformações nos dados contidos em uma base de dados referenciada territorialmente (geocodificada), usando recursos analíticos, gráficos e lógicos para a obtenção e apresentação das transformações desejadas.

A complexidade inerente aos sistemas ambientais muitas vezes exige que, para que se possa dar conta de certas questões e adquirir uma visão de conjunto dos problemas, recorramos a técnicas cada vez mais robustas, abrindo mão da precisão estatístico-matemática em favor de uma percepção mais ampla e relista dos fenômenos. Noutras palavras, muitas vezes somos abrigados a trabalhar com técnicas que operam nas escalas de menor precisão, a nominal e a ordinal, à medida que certos fenômenos ou aspectos das realidades ambientais não se prestam a mensuração nas escalas de intervalo ou de razão, ou não comportam os requisitos necessários (normalidade, semelhança de variâncias etc.) para o uso de certas técnicas. Essa situação é tanto mais nítida quando se trata de investigar também fenômenos sociais, ao estudar ambiente construídos ou ambientes sesinvelmente modificados pela ação do homem (como são aliás quase todos nos dias de hoje). Isso não quer dizer que as técnicas estatísticas, paramétricas ou não-paramétricas não possam ser eventualmente utilizadas, desde que respeitadas suas limitações. Sobre uma base geocodificada podem ser obtidas estatísticas descritivas e classificações, além de serem passíveis de aplicação esquemas inferenciais associados à análise estatística multivariada (superfícies de tendência, funções discriminantes, análise fatorial). Tal uso, é bom repetir, deve respeitar a natureza dos dados ambientais e também considerar dificuldades de tratamento conjunto de grandes áreas geográficas, contidas na base de dados, mas manipuláveis somente através de módulos territoriais, o que causa problemas no estabelecimento de medidas estatísticas de dispersão e, conseqüentemente, o uso de tratamentos

mais avançados baseados na variâncias dos dados.

## ANÁLISES E SÍNTESES GEOGRÁFICAS

A percepção científica do ambiente pode ser feita através de um contínuo processo de análises sucessivas, com as quais identificamos, classificamos e explicamos a presença de conjuntos estruturados de objetos e atributos que julgamos existir na realidade ambiental. Como exemplo dessas análises e sínteses sucessivas, uma fazenda, uma paisagem rural, pode constituir uma estrutura ambiental percebida, e sua análise pode identificar a presença predominante de pastos, caracterizando, em nova síntese, a fazenda como dedicada à pecuária e integrante de uma área de criação de gado.

A percepção ambiental tende a estruturar-se sob a forma de modelos, que são conjuntos organizados *de dados* que aceitamos como correspondentes às estruturas de objetos e atributos ambientais percebidos. Os dados constituintes dos modelos ambientais apresentam características especiais e portadoras de implicações de interesse na pesquisa ambiental. Os dados ambientais são diversificados, o que conduz à necessidade de trabalho interdisciplinar, não havendo "ambientalista" que domine todos os campos científicos envolvidos na pesquisa ambiental. Os dados ambientais são também numerosos, e sua abundância crescente conduz ao processamento automático. A tendência ao uso de computadores na pesquisa ambiental está em franco crescimento. Finalmente, os dados ambientais possuem, axiomaticamente, o atributo da localização. Este atributo permite a criação de bases geocodificadas, isto é, bases de dados em que uma referência de localização espacial, associável a cada dado, permite a execução de transformações ligadas a outras propriedades dos dados ambientais, como extensão e relacionamentos, podendo ser ainda inspecionados atributos temporais dos dados, através de análise retrospectiva, para reconstituição da evolução ambiental e, através de avaliações e simulações para prospecção do futuro do ambiente analisado.

Considerar válidas críticas à adoção de modelos específicos e à quantificação em geral, não significa renunciar à utilização ordenada e conscienciosa de uma metodologia de inspeção da realidade ambiental. O que é necessário é que se respeite a natureza dos dados ambientais, que se apresentam em escalas variadas de mensuração (nominal, ordinal, intervalo/razão). Devem ser adotados tratamentos suficientemente "robustos", isto é, capazes de tratar os dados sem desprezar suas características métricas. Deve-se procurar analisar os resultados das medições segundo uma ótica inferencial adequada, isto é, que associe probabilidades de ocorrência em uma estrutura dedutiva, porém sem o rigor da chamada lógica matemática clássica. Tal campo tem recebido a denominação de "probabilidade nebulosa" e tem tido crescente uso em administração pública e privada e no desenvolvimento de estruturas de inteligência artificial em processamento de dados (Levine, Drang, Edelson, 1988, p. 97).

Com relação à modelagem ambiental, dentro deste contexto de análise ambiental, o processamento de dados aplicado aos estudos ambientais, em aparente paradoxo, resultou numa valorização do trabalho de campo. Modelos estimativos de adequações, potenciais, riscos, impactos, abrangendo literalmente milhões de operações na sua elaboração, podem ser rapidamente gerados e regenerados após cotejo com situações ambientais reais num processo de calibração que resulta em aprimoramento das relações entre a realidade ambiental e sua representação simplificada, isto é, o modelo. Esse processo, além de sua capacidade representativa de situações ambientais de interesse, tem um caráter heurístico indisputável, permitindo a paulatina e ordenada aquisição de conhecimento sobre a malha de relações naturais e sócio-econômicas que incide sobre qualquer problemática ambiental. O pressuposto dessa proposição é o da integração de dados do ambiente natural com dados sócio-econômicos, em esquemas prospectivos de avaliação, guiados por finalidades especificadas, tais como a proteção ambiental. Evidentemente, usos dessa metodologia para fins contrários a uma ética humanística podem ser imaginados. Não há nesse procedimento, entretanto,

tendenciosidade intrínseca que deforme seu uso, sendo uma forma interativa de aquisição de conhecimento ambiental que incorpora, ao longo das avaliações e no processo de calibração contra a realidade, uma participação direta e intensa do pesquisador no processo de criação do modelo do ambiente. Tal fato, em princípio pelo menos, o torna capaz de perceber deformações na modelagem que indiquem seu uso como instrumento de visões desrespeitadoras do uso do ambiente para o bem comum.

---

## MODELOS DIGITAIS DO AMBIENTE

---

As bases de dados geocodificados podem ser entendidas como uma parte de uma interface entre o pesquisador e o ambiente. Esta interface é imprescindível, existindo de forma implícita nas pesquisas tradicionais (coleções de mapas, relatórios, cadernetas de campo, fotografias etc). A criação ordenada de bases de dados permite que a ela sejam associados esquemas analíticos poderosos, como são as técnicas de geoprocessamento. Mapas, cartogramas constituem um dos elementos básicos de tais bases de dados geocodificados, juntamente com dados estatísticos referentes a unidades político-administrativas e dados provenientes do sensoriamento remoto. Este último tipo de dado normalmente já é obtido sob a forma digital e a digitalização dos outros dois tipos, e sua integração em uma base territorial de referência, permite que se conceitue o que pode ser denominado um modelo digital do ambiente (Xavier da Silva, 1982), um eficiente enfoque para análises territoriais. Esses modelos são estruturas físicas e lógicas não-tradicionais. Os dados, fisicamente, passam a ser registros magnéticos processados por computação eletrônica. Logicamente, os dados se estruturam seguindo ordenação que permitem eficiência no seu armazenamento, recuperação e transformação.

A análise de dados contidos em modelos digitais do ambiente, além de permitir de imediato tratamento por geoprocessamento, tem um efeito ancilar de alguma relevância no quadro da pesquisa ambiental. Ao

contrário do que se poderia supor à primeira vista, o uso de modelos digitais do ambiente, uma vez a ele associada a capacidade de análise ambiental, acelera e simplifica o tratamento dos dados, liberando o pesquisador de tarefas árduas e repetitivas, tais como criação de estatísticas descritivas, execução de combinações de dados e outras. O "ambientalista" fica mais livre para raciocinar, para ir a campo cotejar suas estruturas de dados - seus modelos - contra a realidade e executar suas indispensáveis calibrações. O profissional passa a ser pago para executar as tarefas nobres de análises e sínteses inferenciais, não executáveis, em nível elevado, por qualquer sistema de processamento hoje existente.

---

## ANÁLISE AMBIENTAL

---

Nas considerações imediatamente anteriores já foram feitas referências à análise ambiental. Este campo de pesquisa comporta diversos aspectos, sendo os mais utilizados, possivelmente, a geoestatística e o geoprocessamento. Uma apresentação da geoestatística poderia ser aqui feita. Trata-se, no entanto, de campo científico relativamente consolidado, sendo inclusive objeto até de textos didáticos no Brasil, há alguns anos (Xavier da Silva, 1974, Gerardi e Silva, 1981, Xavier da Silva e Souza, 1988).

Em síntese, compõem a geoestatística tratamentos quantitativos, de estatística descritiva e inferencial, paramétrica e não-paramétrica, univariada e multivariada, que podem ser aplicados a problemas ambientais, inclusive com base no uso de modelos digitais do ambiente. Entretanto, tendo em vista os objetivos de mostrar caminhos atuais, de ampliar o contato com métodos e técnicas em franco desenvolvimento, objetivos esses que julgamos pertinentes à situação atual da pesquisa ambiental, nos ateremos a aspectos da análise ambiental ligados ao geoprocessamento.

Os dados ambientais, elementos primários de qualquer análise ambiental, não são estáticos. Mesmo para inventários ambientais, onde aparentemente haveria esta estabilidade nos registros obtidos, vemos que

há variabilidade associada ao tempo despendido na obtenção sistemática dos dados. São equipes que variam, são avanços tecnológicos e metodológicos que são adotados, são instituições que são substituídas (ou simplesmente extintas - caso não singular no Brasil). As fontes de variação nos dados são numerosas e este problema é particularmente agudo quando a análise ambiental está voltada para a monitoria e a base de dados tem grande extensão geográfica (implicando grande tempo de coleta e diversidade de jurisdições administrativas). Esta variabilidade dos dados ambientais impõe severa carga de trabalho na homogeneização desses dados e atenção especial deve ser prestada ao problema por parte dos profissionais envolvidos.

A diversidade dos dados ambientais se manifesta também com relação às escalas de mensuração a que estão aferidos. Essencialmente essas escalas são quatro:

a) nominal: na qual registra-se a presença da variável, qualitativamente identificada, havendo apenas distinção entre ocorrências. São exemplos em estudos ambientais os tipos de solos, de uso da terra entre muitos outros. Como exemplos da variante binária poderíamos ter a presença ou ausência de uma característica ambiental qualquer.

b) ordinal: escala na qual são ordenados, num intervalo numérico conveniente (0 a 10, 0 a 100), os dados utilizados, havendo distinção e hierarquização dos dados ambientais sem que as distinções numericamente expressas entre diferentes dados sejam representativas de suas diferenças reais (ausência de uniformidade de intervalo). Deve ser notado, entretanto, que a escala ordinal possui, em comum com escalas mais poderosas, uma propriedade lógica de grande importância em estudos ambientais, que é a transitividade. Assim, se afirmamos que um uso da terra "A" deve ter prioridade sobre o uso da terra "B", e este uso "B" tem prioridade sobre um terceiro uso da terra "C", então segue-se que o uso "A" é prioritário também sobre o uso "C". Esta propriedade lógica dessa escala garante seu uso em classificações ambientais.

c) escalas de intervalo: nesta escala há a singularização e a hierarquização da categoria do fenômeno ambiental, embora a presença do zero não represente a ausên-

cia da propriedade mensurada e não sejam mantidas as proporções (razões) entre valores aferidos e posições na escala. São exemplos ambientais dessa escala a latitude e a longitude, onde o zero não apresenta ausência do atributo de localização, e a escala de dureza dos minerais, onde não é correto dizer que o diamante (dureza 10) é duas vezes mais duro que a apatita (dureza 5).

d) escala de razão: é a escala que discrimina, hierarquiza e mensura, mantendo razões constantes entre posições na escala. Como exemplo, é rigorosamente correto afirmar, em termos de população, que uma cidade com 50.000 habitantes é cinco vezes maior que outra com 10.000 habitantes.

A apresentação acima nos leva a considerar a necessidade de conversão de escalas, uma vez que fenômenos ambientais podem se apresentar segundo qualquer uma delas.

A escala nominal apenas permite a discriminação de categorias, sendo insuficiente para o estabelecimento de agrupamento, pois numa categorização nominal, um exemplar apenas pode ser igual ou diferente de um outro, restringindo-se a classificação a esta associação entre iguais, não havendo uma medida especificada de semelhança, a não ser por critérios externos à própria escala (árvores de semelhança definidas para os objetos a serem classificados, por exemplo).

As escalas de intervalo e razão, por serem escalas mais poderosas, podem ser transferidas para escalas de menor poder diagnóstico. O intervalo não é verdadeiro. Não é possível transferir dados das escalas nominal e ordinal para as escalas superiores de intervalo e razão.

O problema de conversão de escalas, para estudos ambientais, parece ficar restrito, então, ao uso da escala ordinal. É possível transferir para ela dados tanto das escalas superiores, embora com perda de conteúdo diagnóstico, quanto da escala nominal. Com esta conversão cria-se um critério externo de ordenação das diferentes categorias, de uso específico para cada caso de classificação ambiental. Como exemplos temos a ordenação de diferentes tipos de solo em termos de sua qualidade agrônômica para um determinado cultivo, ou a hierarquização de diferentes declives

em termos de sua contribuição, como característica ambiental, para a erosão do solo.

A conversão acima discutida tem grande utilização em pesquisa ambiental. Ela permite que seja respeitada a natureza intrínseca dos dados ambientais, que se apresentam sob diferentes escalas. Além disso, a propriedade lógica da transitividade permite que sejam estabelecidas classes e hierarquizações de grande valia para inferências relativas ao ambiente. O uso desta conversão pode ser relacionado com a utilização das chamadas lógicas e probabilidades nebulosas (em inglês, *fuzzy*), já mencionadas neste trabalho, que apesar da denominação de certo modo detratória, tem servido de base para pesquisas recentes e de alto nível (Levine, Drang e Edelson, 1988; Smith, Peuquet, Menon e Agarwal, 1987).

Um outro aspecto a ser analisado com relação aos dados ambientais, com implicações quanto à qualidade, diversidade e abundância desses dados, é o pré-processamento, que consiste no conjunto de tarefas de preparação desses dados para a análise ambiental. Este problema é comum à análise ambiental como um todo, seja ela feita em sistemas geográficos de informação, seja em sistemas mais simples, que executam apenas análises específicas dos dados ambientais.

É no pré-processamento que se realizam as tarefas demoradas, tediosas e importantes de levantamento das fontes de dados. Estas podem ser diretas - produto da inspeção específica, simples ou instrumentada, de um ambiente; indiretas - caso do sensoriamento remoto, dependente de interpretação; ou, ainda, intermediárias - caso de dados que estão em instituições encarregadas de corrigi-los para posterior distribuição.

Todos esses dados, numerosos, diversificados, de diferentes qualidades, precisam ser integrados em uma base territorial de referência. A esta integração se denomina geocodificação dos dados ambientais. É óbvio que inspeções bastante qualificadas precisam ser feitas sobre esses dados antes e após sua geocodificação. Um exemplo dessas inspeções qualificadas serve para ilustrar a natureza das tarefas de pré-processamento para fins de análise ambiental. Trata-se da eliminação (ou mi-

nimização, mais realisticamente) das incongruências encontradas nos dados, mesmo após sua geocodificação, isto é após sua inspeção inicial quanto à qualidade, validade e potencial de generalização.

As incongruências em dados ambientais geralmente são de dois tipos:

a) incongruências geográficas, que ocorrem quando, em relação a uma área geográfica, aparecem duas ou mais versões diferentes da distribuição territorial de características ocorrentes. A área aparece multiplamente mapeada por erro de construção gráfica, por erro de localização geográfica ou outro qualquer, mas em essência, o erro em si tem expressão territorial. Este tipo de erro pode ser pesquisado na base geocodificada por algoritmos especialmente criados, que inspecionem, por exemplo, a periferia das áreas referentes às classes de características ambientais envolvidas na análise;

b) incongruências taxonômicas. Estas são de detecção mais difícil. Podemos ter uma área em que fenômenos iguais foram erroneamente classificados como diferentes, ou pode ocorrer inversamente, que fenômenos diferentes tenham sido classificados como iguais. Em ambos estes casos de incongruências taxonômicas, são necessários grandes esforços para identificação destas incongruências, as quais, no contato, podem trazer grande margem de erro ou mesmo invalidar a análise ambiental de uma área geográfica.

Um ponto que merece destaque com relação ao pré-processamento é a participação de especialistas de diversos campos da pesquisa ambiental. A acuidade e a abrangência da percepção humana, em relação a essas tarefas de pré-processamento, estão longe de serem igualadas pela atuação dos meios autorizados de controle de qualidade e robotização, por enquanto aplicável apenas a tarefas de detecção simples e previamente definidas, as quais estão longe da complexidade presente nas tarefas de pré-processamento de dados para fins de análise ambiental.

Conforme já insinuado, a execução da análise ambiental pressupõe a existência de uma base de dados, de preferência geocodificada, isto é, com os dados armazenados segundo seu atributo de localização. Isso caracteriza um sistema computacional voltado para a análise ambiental, e

a base de dados acima referida precisa ter sua validade em periódica verificação, pois os dados ambientais, em particular os de cobertura do solo e sócio-econômicos, apresentam vigência relativamente curta, sendo mais "perecíveis" que certos dados do ambiente natural, como geologia, solos, geomorfologia e outros. A necessidade de manter a validade da base de dados implica a criação de tarefas de manutenção, análogas às de qualquer sistema mecânico (tratamentos setoriais diferenciados, periodicidade de inspeções etc.).

## SISTEMAS GEOGRÁFICOS DE INFORMAÇÃO

Em termos precisos, embora de certa forma pomposos, pode-se afirmar que a criação de sistemas geográficos de informação pode ser empreendida através da geração de um hiperespaço heurístico, composto por eixos não-ortogonais de escala ordinal, onde podem ser executadas classificações, análises retrospectivas e prospecções ambientais com base em estimativas e simulações apoiadas nos dados geocodificados (Xavier da Silva, 1982).

O uso de sistemas geográficos ou de análise ambiental permite também ganhar conhecimentos sobre as relações entre fenômenos ambientais. A definição de ocorrências conjuntas em um mesmo local, por exemplo, permite inferir, em alguns casos, possíveis relações de causa e efeito. Novas perspectivas podem ser geradas a partir da consideração conjunta de diversas variáveis sobre uma mesma área geográfica. Refinamentos classificatórios podem surgir da análise da distribuição territorial de variáveis ambientais conjugadas, com benefícios para a sistemática científica. Existem exemplos nos campos da Geografia e da Engenharia Florestal, onde variedades de seres vivos ou tipos de formas de relevo podem ser mais bem caracterizados a partir de relacionamentos entre as categorias e com as condições ambientais.

Serão apresentadas, a seguir, com exemplos de técnicas de análise ambiental (algumas outras já foram apresentadas neste texto), alguns procedimentos usados por Sistemas Geográficos de Informação. Essas técnicas dependem da estruturação

correta dos dados em um eficiente modelo digital do ambiente, com apoio em métodos computacionais, para terem as necessárias precisão e rapidez.

a) Extração seletiva de variáveis: trata-se de consulta ao sistema sobre ocorrências específicas de uma ou diversas categorias de variáveis em uma área. Geralmente, nos casos de várias categorias, são consultas que se baseiam na possível ocorrência conjunta, em alguma porção da base de dados, de conjugação de fatores ambientais, com alguma relação podendo ser presumida entre eles. Exemplo: "Quais os locais em que ocorrem, conjuntamente, grandes declividades e remanescentes de uma floresta anteriormente densa?"

Em uma região desmatada, esta consulta, se for encontrada grande quantidade das ocorrências associadas presumidas, será explicável em termos de o desmatamento ter sido dirigido para áreas de declive menor, mais favoráveis à implementação da agricultura ou à simples remoção da madeira. Esta ocorrência associada define os refúgios da vegetação agredida pela ação humana. O número e a extensão desses refúgios pode orientar uma política de reflorestamento da região desmatada.

b) Acompanhamento de variações ambientais (monitoria): se um sistema tem condições de monitorar uma área (como podem fazer os sistemas geográficos de informação desde que tenham apoio de dados teledetectados e contenham um banco de dados ambientais em constante atualização), por possuir informações ambientais registradas em diferentes ocasiões e referentes a uma mesma área geográfica, é possível promover a definição das modificações ambientais julgadas relevantes para uma pesquisa ambiental.

O uso da terra pode ser registrado em uma base de dados geocodificada em várias ocasiões diferentes, segundo intervalos de tempo convenientes. A consulta pode ser múltipla, do tipo "para cada uso da terra, houve modificação da área de ocorrência ao longo do tempo considerado? Em caso positivo, onde e em que extensão se deram as modificações e qual o uso (ou usos) da terra que foi (foram) o(s) substituído(es) do uso anterior?"

As respostas a esta consulta múltipla permitem definir o que foi transformado em que, onde, em que extensão e quando se

deram estas transformações. Esta consulta, se dirigida a uma base de dados de pequena extensão, abrangendo reduzido número de categorias de uso da terra, parece de trivial resposta através da inspeção convencional dos mapeamentos. Isto não é verdadeiro quando milhares de unidades de integração dos dados precisam ser consideradas (ou seja, quando uma detalhada resolução é exigida), várias ocasiões de registro da situação ambiental e numerosas variáveis (categorias de uso da terra) estão envolvidas na monitoria em questão.

Julgamos suficientemente documentada esta função de monitoria ambiental que pode ser exercida através do uso de sistemas de análise ambiental. Outras situações de monitoria podem ser facilmente imaginadas.

As duas técnicas apresentadas a seguir revestem-se de particular importância pelo seu conteúdo heurístico, pela grande aplicabilidade e também pelas implicações com o trabalho de campo, de onde deriva, em última análise o juízo final quanto a validade de muitas análises feitas. O trabalho de campo é aspecto essencial da pesquisa ambiental, embora possa parecer, erroneamente, aos menos avisados, dispensável e substituível pelo uso dos prestigiados recursos do processamento eletrônico de dados.

a) Assinatura ambiental: este conceito pode ser derivado do análogo "assinatura espectral", de uso em sensoriamento remoto e processamento de imagens. Podem ser definidas áreas na base de dados referentes a locais no ambiente onde estejam ocorrendo eventos de interesse (deslizamentos de desmoronamentos de encostas, por exemplo). Isso pressupõe ida a campo, para definição precisa dos locais a serem analisados. A consulta feita ao sistema será "quais as características ambientais que estão registrados na base de dados como ocorrendo nos locais onde o evento ambiental de interesse foi registrado?" (deslizamentos de desmoronamentos, no exemplo mencionado acima). Esta busca permitirá definir, no referencial lógico que é o sistema de análise, com base no atributo de localização inerente aos fatos ambientais, a associação de características ambientais que, causal ou aleatoriamente, estão registradas em conjunto com

o fenômeno ambiental de interesse. Tal procedimento, executado repetidas vezes, permite constatar maior ou menor constância da presença de certas características ao longo de vários locais analisados, o que permite inferências quanto a associações causais entre as variáveis e o evento de interesse.

Com este procedimento de análise é adquirido conhecimento empírico relativo à realidade ambiental. Locais de alta produtividade agrícola podem ser inspecionados e cotejados para definição e hierarquização de fatores ambientais relevantes.

Vale ressaltar que a base de dados a ser inspecionada pode não apenas conter informações quanto ao ambiente natural (solos, declividades etc.), mas, também, dados de caráter sócio-econômico, como níveis de adubação, de mecanização agrícola, tipos de sementes utilizadas e proximidade de centros de apoio agrônomo sendo alguns exemplos. Estas variáveis naturais e sócio-econômicas podem estar detalhadas a qualquer nível e, uma vez injetadas na base de dados, estarão disponíveis para a definição e cotejos de assinaturas ambientais de interesse.

b) Avaliações ambientais: a definição de associação de ocorrência de interesse em uma base de dados não precisa ficar restrita ao uso do procedimento empírico que baseia a obtenção de assinaturas ambientais. Conhecimentos analíticos sobre os processos envolvidos em fenômenos ambientais (mecânica das rochas, por exemplo, para ficarmos coerentes com o exemplo de desmoronamentos e deslizamentos de encostas do item anterior) podem basear um seleção de variáveis, entre as pertencentes à base de dados, que sejam hipoteticamente julgadas como de possível ocorrência territorialmente conjunta com o evento ambiental de interesse. A base de dados pode então ser investigada para verificação da hipótese levantada. O tratamento descrito abaixo, acompanhado de exemplo, representa uma operacionalização do procedimento acima delineado, com certa ampliação do poder de inspeção da base de dados, ampliação esta baseada no uso de escalas ordinais de avaliação.

As características ambientais de qualquer área geográfica normalmente são apresentadas por categorias, segundo a origem do próprio conhecimento ambien-



tal. São exemplos os mapas de solo, de uso da terra, de clima, geomorfológicos, geológicos, de densidade demográfica, que constituem o que pode ser denominado conjunto de parâmetros ambientais disponíveis para a pesquisa naquela área geográfica. Cada um destes parâmetros pode apresentar diversas categorias solas A, B, C; litologias I, II, III, IV etc. e o problema se apresenta em como estimar, com suficiente detalhe, a possibilidade de estarem estas categorias (e os parâmetros, em um nível sistemático mais sintético) associadas territorialmente a um evento de interesse.

A decomposição da avaliação em dois níveis permite tratar com eficiência as numerosas estimativas associadas às categorias relativas a cada parâmetro ambiental envolvido. Procura-se estimar, inicialmente, a importância relativa que tem cada parâmetro para a ocorrência do evento de interesse. Postula-se, para fins operacionais, que o número de parâmetros escolhidos responde totalmente pela ocorrência do evento. Como exemplo: a ocorrência de desmoronamentos em uma região estaria condicionada:

a) à litologia (40%); b) aos declives (30%); c) aos graus de fraturamento das rochas (30%). São assim distribuídos "pesos" diferentes à participação dos parâmetros hipoteticamente envolvidos na avaliação, respeitando a posição sistemática mais elevada do parâmetro em relação a suas classes.

Todas as categorias de cada parâmetro podem ter sua importância para a ocorrência do evento estimadas segundo uma escala ordinal fixa (de 0 a 10, por exemplo). Chamaríamos "nota a esta avaliação, de fácil apreensão pelo analisador. No exemplo: Litologias: categoria 1, nota 10; categoria 2, nota 5; categoria 3, nota 0. Declives: A, nota 2; B, nota 10; C, nota 0. Graus de fraturamento: nível I, nota 3, nível II, nota 10.

A integração numérica entre os "pesos" e as "notas" dadas aos parâmetros e classes pode ser feita a partir das categorias de cada parâmetro singularmente registradas em cada unidade territorial de integração dos dados, unidades essas que compõem a base de dados sob análise. Disso resulta, uma vez adotado um algoritmo conveniente, que a contribuição máxima para a ocor-

rência do evento ambiental, estimada para as categorias com nota máxima, será limitada pelo uso do peso relativo ao parâmetro correspondente. Um algoritmo sugerido, aplicável a estruturas matrizes, é o seguinte:

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_k \cdot N_k) \quad \text{onde:}$$

$A_{ij}$  = cédula qualquer da matriz;  
 $n$  = número de parâmetros envolvidos;  
 $P$  = peso atribuído ao parâmetro, transposto o percentual para a escala de 0 a 1;  
 $N$  = nota na escala de 0 a 10, atribuída à categoria encontrada na cédula.

No exemplo poderíamos encontrar:

a) para uma unidade territorial na qual fossem registradas: litologia 1 (nota 10); declive B (nota 10) e nível de fraturamento II (nota 10), estariam associadas as maiores probabilidades (totais, pelo algoritmo) de ocorrência de desmoronamentos e deslizamentos:

$$A_{ij} = .4(10) + 0.3(10) + 0.3(10) = 10$$

b) para uma unidade territorial onde fossem registradas: litologia 3 (nota 0); declive C (nota 0) e nível de fraturamento II (nota 10), a avaliação seria:

Esta avaliação do exemplo deve corresponder, em termos vernaculares, a um local de declive suave ou nulo, onde uma rocha pouco alterável ocorre, estando esta rocha, no entanto, bastante fraturada. Seguindo este procedimento, inúmeros exemplos de situações ambientais merecedoras de análises deste tipo podem ser facilmente imaginados.

Várias observações são cabíveis quanto a esta forma de avaliação ambiental. A primeira delas consiste em que, teoricamente, foi criado um espaço (ou um hiperespaço), a comando do analisador, espaço este definido por tantas dimensões quantos sejam os parâmetros considerados. Também foi providenciada pelo procedimento de análise preconizado uma conversão de escalas, com a qual as características ambientais consideradas se apresentam contidas nas escalas ordinais definidoras do sentido de variação dos eixos (dimensões) do espaço de classificação.

Com o algoritmo adotado, podem ser consideradas certas situações comuns em problemas ambientais, quando um parâmetro (declive, por exemplo) é importante, em relação a outros parâmetros, mas uma de suas categorias (declive nulo, por exemplo, receberia nota 0) não apresenta associação previsível com o evento de interesse (desmoronamentos e deslizamentos, no exemplo).

Algumas críticas podem ser levantadas quanto ao uso deste esquema avaliativo. O algoritmo postula independência entre os fatores associados ao evento, o que não corresponde à realidade. Existe interação prévia entre solos, vegetação e rocha matriz, que compõe um conjunto de trocas de energia e massa que seriam setorializados por um esquema analítico como o preconizado. Isso nos remeteria ao estabelecimento e à utilização apenas de modelos determinísticos clássicos que considerariam as trocas de energia/massa envolvidas ou procurariam assemelhar funções matemáticas ao comportamento das variáveis consideradas. Tais modelos, no entanto, são de obtenção difícil, pressupondo situações de experimentação controlada e, muitas vezes, níveis de simplificação (definição de coeficientes, transformações minimizadoras de variância) que os fazem perder um pouco a correspondência com a realidade ambiental estudada. Não defendemos que tais modelos sejam abandonados. Achamos, no entanto, que na pesquisa geoambiental é cabível a adoção de métodos numéricos mais robustos, respeitadores da natureza dos dados disponíveis. A adoção de uma escala de avaliação variando de 0 a 10 provê um razoável número de classes de estimativas, podendo abranger, vernacularmente, desde o "péssimo" até o "ótimo", por exemplo.

Outra crítica que poderia ser feita a esse tipo de procedimento de análise poderia se referir à necessidade de operar sobre unidades territoriais de pequena extensão, em cada uma das quais apenas uma categoria de cada parâmetro esteja registrada. Em resposta, se pode afirmar que a adoção de unidades territoriais de pequeno porte não é problema quando se usa processamento de dados. Os microcomputadores atuais, por exemplo, dispõem de grande volumes de memória central (que crescem constantemente com novas versões dos equipa-

mentos), permitindo o tratamento eficiente dos numerosos dados envolvidos em tais avaliações. Quanto à necessidade aparente de cada célula conter uma categoria, tal problema pode ser superado pela criação de categorias mistas (células em que 70% das espécies são herbáceas e 30% são arbustivas, por exemplo), as quais podem ser tratadas como categorias distintas pelo algoritmo de avaliação.

A adoção de procedimentos de análise ambiental baseados em métodos computacionais permite rapidez na obtenção de resultados para os quais é feita, por processamento automático, a avaliação de dezenas ou centenas de milhares de células em pouco tempo, se forem usados computadores de baixo custo (equipamentos mais caros fazem varreduras deste tipo em segundos). Qual a vantagem desta rapidez, em princípio até excessiva para quem não está envolvido em situações críticas ou de emergência? Em pouco tempo, diante do computador, o pesquisador pode formular suas avaliações, atribuindo seus pesos e notas às variáveis ambientais, podendo fazê-lo para vários casos de avaliações diversas e, assim, obter do sistema numerosos mapas de avaliação territorial em uma sessão de trabalho. Conforme já mencionado, essas avaliações mapeadas podem ter se baseado também em informações obtidas por assinaturas ambientais, o que valoriza o trabalho de campo previamente feito.

A interação entre as técnicas de assinatura e de avaliação merece maiores considerações. Esses procedimentos podem ser integrados com pesquisas de campo, de uma maneira muito proveitosa. Após a obtenção do mapeamento de uma avaliação - que é a expressão territorial da estimativa feita, prevendo portanto o que ocorrerá, onde, em que extensão e próximo a que - pode ocorrer uma tendência a considerar o referido mapeamento um resultado final. Esta hipótese é particularmente atraente ao se constatar a criação física dos mapas em telas ou sua impressão colorida em traçadores ou impressoras gráficas. Na verdade esse deve ser considerado apenas um passo intermediário da análise ambiental. O mapa de avaliação inicial deve ser levado a campo, para cotejo com a realidade ambiental, sendo importante que as avaliações feitas estejam em

correspondência com os locais que serviram para obter as assinaturas ambientais, no caso de elas terem sido usadas na geração de avaliação. Caso assinaturas não tenham sido usadas, podem ser inspecionados locais onde sabidamente o evento de interesse ocorra (locais com desmoronamentos recentes, por exemplo). Essa inspeção posterior em campo pode definir a necessidade de obtenção de assinaturas (ou mais assinaturas, se já tiverem sido feitas algumas). Pode também iluminar possíveis relações entre variáveis ambientais e chamar a atenção para ângulos obscuros da análise ambiental que necessitam maiores investigações. Parâmetros novos ou refinamentos nas classes dos já utilizados podem ser introduzidos na análise, para a verificação de sua importância para o evento de interesse.

Todos esses cotejos e ajustes representam uma calibração do modelo ambiental estimado para o evento analisado. Incongruências entre o modelo e a realidade não representam menos do que a oportunidade de modificar ou refinar o modelo através dos procedimentos de avaliação, que são bastante flexíveis, conforme visto acima. Esta calibração é, além do mais, facilitada pelo uso de métodos computacionais, tornando possível um processo iterativo de aproximações sucessivas entre a realidade ambiental e as avaliações erigidas em um modelo de ocorrência estimada do fenômeno analisado, com sua expressão territorial automaticamente expressa pelo uso de métodos de processamento de dados ambientais.

Um aspecto final relativo a avaliações ambientais e relevantes pode ser mencionado. Ao executar uma avaliação, na qual são apropriadas calibrações através de cotejos com assinaturas e trabalho de campo, um pesquisador está também demonstrando sua habilitação intelectual como profissional em pesquisa ambiental. Suas estimativas relativas a parâmetros e respectivas categorias, seus procedimentos de calibração, todos os passos da criação de seu modelo de associação de características ambientais a um determinado evento, podem ficar registrados em memória auxiliar (discos rígidos, disquetes etc.) do sistema de computação usado nas avaliações. Fica assim criada, para a instituição que congrega pesquisadores geoam-

bientais, um instrumento específico de avaliação da capacitação profissional de seus quadros de pesquisadores.

A discussão dos parágrafos anteriores permite visualizar a importância da avaliação ambiental, especialmente quando conjugada à obtenção de assinaturas e ao trabalho de campo. Simulações podem ser criadas sobre a base de dados, com a introdução de características fictícias (traçados de estrada projetadas, por exemplo, para fins de avaliações da possível expansão urbana). Numerosos tipos de riscos (erosão do solo, desmoronamentos, enchentes) podem ser estimados. Potenciais de diversos tipos também podem ser avaliados (urbanização - Xavier da Silva et al, 1988; turismo - Góes, 1988). A importância de certas feições pode ser estimada pela sua remoção fictícia do quadro ambiental (desmatamento generalizado hipotético, por exemplo). Em suma, todo um quadro de investigação ambiental pode ser feito com esquemas de avaliação do tipo aqui preconizado (Xavier da Silva, e Souza, 1988). Análises prospectivas (e retrospectivas) podem ser executadas com eficiência, particularmente quando apoiadas em processamento de dados, fornecendo informações em tempo útil para inventários, monitorias e gestões ambientais.

A possibilidade de criação de sínteses relativas a alguns aspectos de uma área geográfica já foi delineada ao mencionarmos acima a possibilidade de simulações e as estimativas de riscos e potenciais ambientais. Um desses casos de síntese merecedor de destaque é a estimativa de impactos de certos processos ambientais. A expansão de um cultivo, economicamente vantajoso, mas que promova a erosão do solo, pode ser estimada para uma área, à luz de dados relativos a declividades, solos, feições geomorfológicas etc. Para esta mesma área podem ser estimados os riscos de erosão do solo, à luz de parâmetros iguais ou semelhantes. O lançamento dos dois cartogramas (outros poderiam ser gerados e também participarem da análise), um contra o outro, usando o próprio esquema de pesos e notas, permite avaliar o impacto da expansão territorial prevista para o cultivo em tela, que incidirá sobre locais com diferentes riscos de erosão. Este impacto fica assim dimensionado e expresso territorialmente. Ao ser estimado

previamente, permite que seja evitado o cultivo em áreas de alto risco de erosão do solo e, inversamente, permite que seja estimulado o cultivo em áreas de baixos ou nulos riscos de erosão.

As estimativas de impactos setorializados podem ser feitas em grande número, para diferentes processos atuantes sobre diversos riscos ambientais (potencial de urbanização contra riscos de enchentes e contra riscos de desmoronamentos (Xavier da Silva et al, 1988), permitindo a composição de um quadro sintético e pragmático da possível evolução, em futuro próximo, dos ambientes analisados.

As informações coligidas e parcialmente sintetizadas nas avaliações e nas estimativas de impacto permitem que se formulem hipóteses e alternativas para a área geográfica sob análise. São os cenários possíveis/prováveis. Adotadas certas premissas ("se nada for feito em relação à proteção ambiental", por exemplo), podem ser criadas decorrências lógicas sobre a situação ambiental no futuro próximo, que constituirão os cenários possíveis/prováveis. A luz dessas possibilidades podem ser criadas normas de manejo ambiental que minimizem ou eliminem efeitos nocivos, a poluição sendo o exemplo imediato, embora o desmatamento e a marginalização econômica dos habitantes locais possam ser outros desses efeitos danosos. Essas normas de manejo poderão ser aplicadas, seletivamente, sobre diferentes porções da área estudada, por essas que poderão constituir-se em Unidades de Manejo Ambiental (UMAs) (Xavier da Silva, 1973). Em trabalho recente tivemos a oportunidade de fazer assinaturas, avaliações, matriz de objetivos conflitantes, estimativas de impactos, criação de cenários possíveis/prováveis

e Unidades de Manejo Ambiental (Xavier da Silva et al, 1988).

## CONCLUSÕES

A pesquisa ambiental tem sua qualidade repousando em dois pilares, a saber:

a) qualificação adequada do pesquisador que principalmente necessita agir inteligentemente na seleção de equipamentos e utilização de procedimentos adequados. Pesquisadores deslumbrados com avanços tecnológicos eficientes são presa fácil para técnicos e comerciantes associados à venda de equipamentos, em particular a parafernália tecnológica associada ao sensoriamento remoto e ao geoprocessamento. Isso não quer dizer que avanços tecnológicos devam ser desprezados, mas sim que deva ser corretamente avaliada sua utilização segundo objetivos e métodos realmente razoáveis, isso é, racionalizados à luz dos recursos disponíveis;

b) as transformações a serem operadas sobre os registros ambientais constituintes de uma base de dados têm que respeitar a natureza dos dados ambientais que não são suscetíveis, muitas vezes a tratamentos excessivamente sofisticados e deformadores da realidade ambiental. Por outro lado, a criação de uma base de dados para a aplicação de técnicas de tratamento de imagens e geoprocessamento (SGIs) não é tarefa trivial, pelas adequações taxonômicas que necessariamente precisam ser executadas, não sendo este, portanto, um problema apenas tecnológico, mas sim um problema essencialmente metodológico.

## BIBLIOGRAFIA

- ABIB, Osvaldo Ari. *Especificações para um sistema de cartografia apoiada por computador*. Rio de Janeiro, (tese de Mestrado defendida no IME) 1986.
- ALMEIDA, Neide Oliveira de. *Delimitação e caracterização de unidades de manejo ambiental: uma contribuição metodológica*. Rio de Janeiro, 1982 (tese de Mestrado defendida na UFRJ).
- ANDRESSON, S. The Swedish Land Data Bank. *International Journal of GIS*, v. 1, nº 3, jul./set. 1987.
- BERRY, J.K. Fundamental operations in computer-assisted map analysis. *International journal of Geographical Information Systems*, v. 1, n. 2, abr./maio 1987.
- BOLETIM do Grupo de Pesquisas em Geoprocessamento. n. 1, 1º semestre 1988. Rio de Janeiro. (UFRJ, Departamento de Geografia).
- BOYLE, Raymond. *The use of digital raster in cadastral mapping*. I Congresso Latino-americano de Informática em Geografia. Comunicação apresentada, em versão preliminar.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretária Geral. *Idéias de quem faz: política científica e tecnológica, financiamento da pesquisa e ensino de ciências no Brasil*. Organizado por Marcos Maciel Formiga. Brasília, 1987.

- \_\_\_\_\_. *O que o brasileiro pensa da ciência e da tecnologia?* (a imagem da tecnologia junto à população urbana brasileira). Museu de Astronomia e Ciências Afins, Ministério da Ciência e Tecnologia/CNPq. Rio de Janeiro, 1987, (relatório de pesquisa).
- BRYANT, N.A. Integration of socioeconomic data and remotely sensed imagery for land use applications. CALTECH/IPL Conference on Image Processing Technology. Data Sources and Software for Commercial and Scientific Applications. California Institute of Technology-Pasadena, Califórnia, 1976.
- CALKINS, H.W, TOMLINSON, R.F. *Geographic informations systems methods and equipament for land use*. Virginia, Reston, 1977.
- CARDOSO, Aurenice. Conscientização e alfabetização - visão prática do Sistema Paulo Freire de Educação de Adultos. *Revista de Cultura*, Universidade de Recife, n. III, 1963.
- CAUTELA, A.L., POLLONI, E.G.F. *Sistemas de informação: um enfoque atual*. Rio de Janeiro, LTC, 1982.
- CERON, Antonio Olívio. Conceitos econômicos básicos para a Geografia da Agricultura. *Geografia*, v. 1, abr. 1976.
- CHRISMAN, N.R. Efficient digitizing through the combination of appropriate hardware and software for error detection and editing. *International Journal of GIS*, v. 1, n. 3, jul./set. 1987.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. *As características na Nova Geografia*. *Geografia*, v. 1, n.1, abr. 1976.
- \_\_\_\_\_. *Perspectivas da Geografia*. São Paulo, Difel, 1985. 2. ed.
- CORREIA, Roberto Lobato. Status sócioeconômico e centralidade: uma interpretação. *Geografia*, v. 2, n. 3, abr. 1977.
- CURRAN, Paul J. Geographic informations systems. *Área*, 1984, p. 153 -158.
- DATE, C.J. *An introduction to database systems*. Reading, Addison-Wesley, 1976.
- DIAS, Luiz Alberto Vieira. Imagens e computadores - o olho que tudo vê. *Ciência Hoje*, v. 7, n. 37, nov. 1987.
- DUTTON, Geoffrey (edit.) *First International Advanced Study Symposium on Topological Data Structures for Geographic Information Systems*. Harvard, 1978.
- ERTHAL, Guaraci, CAMARA, Gilberto, AVES, Diógenes. Modelo de dados geo-relacional: uma visão conceitual de um sistema geográfico de informações. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGEM. Anais..., Itatiaia, abr. 1988.
- ESTES, John E., SÉNGER, Leslie W. (edit.). *Remote sensing*. Hamilton, Santa Barbara, 1974.
- FAISSOL, Speridião. Tipologia de cidades e regionalização de desenvolvimento econômico: um modelo de organização espacial do Brasil. *Boletim Geográfico*, n. 233, ano 30, jul./ago. 1971.
- \_\_\_\_\_; et al. *Tendências atuais na Geografia Urbana regional*. Rio de Janeiro, IBGE, 1978.
- FISCHER, Eric. Poluição por zinco na baía de Guanabara - definição por microcomputação, das áreas de ação prioritária. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE 2, p. 399- 415, 1984, Rio de Janeiro, Anais..., Clube de Engenharia/UFRJ.
- FONSECA, Vania. Algumas reflexões sobre a Geografia. *Geografia*. v. 10, n. 19, abr. 1985.
- FORESTI, Celina. *Estimativas populacionais e de crescimento de áreas urbanas no Estado de São Paulo, com utilização de imagens LANDSAT*. São José dos Campos, 1978. (tese de mestrado defendida no INPE).
- FREIRE, Paulo. *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1984.
- \_\_\_\_\_. *Educação como prática da liberdade*. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1967.
- \_\_\_\_\_. GUIMARÃES, Sérgio. *Sobre educação (diálogos)*. Rio de Janeiro, v. I. Paz e Terra, 1982.
- GERARDI, Lucia Helena de Oliveira, SILVA, Barbara-Christine Nentwig. *Quantificação em Geografia*. São Paulo, Difel, 1981.
- GOES, Maria Hilde de Barros. Potencial turístico do Estado de Alagoas. *Geografia*, São Paulo, 1986.
- GOETZ, A.F.H. Use of LANDSAT imagery for geological analysis. CALTECH/JPL Conference on Image Processing Technology. Data Sources and Software for Commercial and Scientific Applications. California Institute of Technology - Pasadena, Califórnia, 1976.
- GUERRA, Antonio José Teixeira. *Delimitação de unidades ambientais da bacia do Mazomba: Itaguaí*, RJ, Rio de Janeiro, 1983. (tese de mestrado defendida na UFRJ).
- JAMES, Preston. *A Geographic of man*. Boston, Ginn, 1949.
- \_\_\_\_\_, DAVIS, Nelda. *The wide world: a Geography*. New York, McMillan, 1959.
- JANZA, Frank, BLUE, Hardd, JOHNSTON, John (edit). Manual of remote sensing (v.I). *American Society of Photogrammetry*, Virginia, Falls Church, 1975.
- JOHNSTON, R.J. *Geografia e geógrafos*. São Paulo, Difel, 1986.
- KANT, Immanuel. *Crítica da razão pura e outros textos filosóficos*. São Paulo, Victor Civita, 1974.
- KUBOS, S. The development of geographical information systems in Japan. *International Journal of GIS*, v.1, nº 3, jul./set. 1987.
- KUHN, Thomas S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo, Perspectiva, 1987c.
- LACOSTE, Yves. *A Geografia serve, antes de mais nada, para fazer a guerra*. Edição clandestina, 1976.

- LEUZINGER, Victor Ribeiro. *Controvérsias Geomorfológicas*. Rio de Janeiro, Gráfica Jornal do Comércio, 1948.
- LEVINE, R.I. et al. *Inteligência artificial e sistemas especialistas*. São Paulo, McGraw-Hill, p. 97. 1988.
- LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé. *Caracterização geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Poti*. Rio de Janeiro, 1982. (tese de mestrado defendida na UFRJ).
- MARBLE, D.F. (edit). *Computer software for spatial bandling*. International Geographical Union, Commision on Geographical Data Sensing and Processing for the U.S. Department of the Geological Survey.
- MAURO, Claudio Antonio de. A Amazônia: o desrespeito ao meio-ambiente. *Geografia*, v. 10, n. 19, abr. 1985.
- MESQUITA, Olindina, GUSMÃO, Rivaldo. As dimensões diferenciadoras e os padrões espaciais de lavouras e rebanhos do sul do Brasil. *Boletim Geográfico*, n. 246, ano 33, jul/set. 1975.
- MORAES, Antonio Carlos Roberto, COSTA, Wanderley Messias. *A valorização do espaço*. São Paulo, HUCITEC, 1984.
- MOREIRA, Rui. *O que é Geografia?* São Paulo, Brasiliense, 1982.
- NAG,P. A proposed base for a geographical information system for India. *International Journal of GIS*, v.1, n. 2, abr./jun. 1987.
- NIERO, Magdalena. *Utilização de dados orbitais do LANDSAT 1 na classificação de uso do solo urbano de São José dos Campos*. São José dos Campos, 1978. (tese de mestrado defendida no INPE).
- \_\_\_\_\_, SILVA, Jorge Xavier da. *Estabelecimento das relações existentes entre o sistema viário urbano e os diferentes tipos de ocupação urbana de São José dos Campos*, 1976. (relatório do INPE).
- NUNES, Maria Fernanda Santos Quintela da Costa. *Mudança de uso da terra e erosão: uma avaliação por fotointerpretação e geoprocessamento*. Rio de Janeiro, 1987. (tese de mestrado defendida na UFRJ).
- OLIVEIRA, Livia de. Contribuição dos estudos cognitivos à percepção geográfica. *Geografia*, v. 2, n. 3, abr. 1977.
- OPENSHAW, S., MOUNSEY, H. Geographic information systems and the BBC's domesday interactive videodisk. *International Journal of GIS*, v. 1, n. 2, abr./jun. 1987.
- PAVIANI, Aldo. Método científico e análise geográfica. *Geografia*, v. 4, n. 7, abr. 1979.
- PEET, Richard. The Geography of human liberation. *Antipode*, v. 17, n. 2-3, 1985 (The Best of Antipode, 1969-85).
- \_\_\_\_\_. Radical Geography in the United States: a personal history. *Antipode*, v. 17, n. 2-3, 1985 (The Best of Antipode 1969-85).
- PHILIPPONNEAV, Michel. *Geographie et action: introduction à la Geographie appliquee*. Paris, Armand Colin, 1960.
- POPPER, Karl. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo, Cultrix, 1974c. 2 ed.
- RELPH, Edward C. As bases fenomenológicas da Geografia. *Geografia*, v. 4, n. 7, abr. 1979.
- RHIND, D. Revent developments in geographical information systems in the U.K. *International Journal of GIS*. v.1 n. 3, jul./set. 1987.
- RODRIGUES, Marcos. *Geoprocessamento*. São Paulo, 1987. (tese de livre-docência apresentada à escola Politécnica da Universidade de São Paulo).
- SANTOS, Armando Pacheco dos, NOVO, Evelyn Marcia Leão Moraes. *Avaliação do uso de dados orbitais do LANDSAT-1 para o levantamento de fatores que auxiliem na implantação, controle e acompanhamento de projetos agropecuários em áreas sujeitas ao desmatamento*. São José dos Campos, 1976. (tese de mestrado defendida no INPE).
- SANTOS, Milton. *Por uma Geografia nova*. São Paulo, HUCITEC, 1978.
- SHUPPENG, Chen. Geographical data handling and GIS in China. *International Journal of GIS*. v. 1, n. 3, jul./set. 1987.
- SILVA, Jorge Xavier da. Geopolítica, processamento de dados e análise ambiental. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. São José dos Campos, 1981. Anais..., p. 773-783.
- \_\_\_\_\_. Unidades de manejo ambiental: a contribuição geomorfológica. In: III ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFOS. Fortaleza, 1978, Anais...
- \_\_\_\_\_. A digital model of the environment: an effective approach to areal analysis. In: BRAZILIAN GEOGRAPHICAL STUDIES. *Conferência Latino-americana da União Geográfica Internacional*, Rio de Janeiro, 1982.
- \_\_\_\_\_. Um sistema de análise geo-ambiental: o SAGA. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE(2). Clube de Engenharia/UFRJ, Rio de Janeiro, 1984, p. 417-419 Anais...
- \_\_\_\_\_. Os geógrafos e o futuro. *Boletim de Geografia Teorética*, 15(29-30), p. 163-173, Rio Claro, 1985.

- \_\_\_\_\_. Semântica ambiental: uma contribuição geográfica. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE (2). Clube de Engenharia/UFRJ, Rio de Janeiro, Anais... 1987, p.18-25.
- \_\_\_\_\_. et al. Análise Ambiental da APA de Cairuçu. *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro, 50 (3), p. 41-83, jul/set. 1988.
- \_\_\_\_\_, QUINTELA, Maria Fernanda Santos. Avaliação da mudança de uso da terra no período de 1935/1970, com utilização de fotografias aéreas e geoprocessamento. In: IV SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO 1. Gramado, 1986, Anais..., p. 99-100, INPE/SELPER/SBC, Gramado, 1986.
- \_\_\_\_\_. et al. Favelas em Santa Cruz - Rio de Janeiro: uma aplicação de geoprocessamento. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE (2) Rio de Janeiro, 1984, Anais... p. 443-446, Clube de Engenharia/UFRJ, Rio de Janeiro, 1984.
- \_\_\_\_\_. Um indicador de vida nas favelas do Rio de Janeiro. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS 2(1): São Paulo, 1984, Anais... AGB 1984. p. 225-239.
- \_\_\_\_\_. O Sistema de Análise Geo-Ambiental: SAGA In: CARTOGRAFIA 41, p. 22-23, 1987.
- SILVA, Eliana Signani, SABIA, Irene Rosa. A participação da comunidade na defesa do meio-ambiente - educação ambiental no ensino de 1º grau. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE v.2 Rio de Janeiro, 1987, Anais...
- SIMPLICIO FILHO, F.C., MIRANDA, J.I., SECHET, P. Estratégica da EMBRAPA na realização de um Sistema Geográfico de Informações Ambientais. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE v.2 Rio de Janeiro, 1984, Anais...
- SMITH, T. et al. KGBIS-II. A knowledge-based geographical information system. *International Journal of GIS*, v.1, n. 2, abr/jun. 1987.
- SMITH, T. et al. Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information systems. *International Journal of GIS*, v.1, n. 1, jan/mar. 1987.
- STERNBERG, Hilgard O'Reilly. Desenvolvimento e conservação: *Geografia*, v. 10, n. 19, abr. 1985.
- THE AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Remote Sensing. Virginia, Falls Church, 1975.
- TOMLINSON, R. Current and potencial uses of geographical information systems. The North American experience. *International Journal of GIS*, v. 1, n. 3, jul/set. 1987.
- \_\_\_\_\_. *Proceedings of the comission on geographical data sensing and Processing* (Moscow, 1976), Ottawa, 1977.
- TUAN, Yi-FU. *Espaço e lugar*. São Paulo, Difel, 1983.
- \_\_\_\_\_. *Topofilia*. São Paulo, Difel, 1980.
- WIGGINS, J.C. Computing aspects of Large geographic information system for the European Community. *International Journal of GIS*, v.1, n. 1. jan/mar. 1987.
- ZOBRIST, A.L. Elements of an image-based information system CALTECH/IPI. *Conference on Image Processing Technology. Data Sources and Software for Commercial and Scientific Applications*. California. California Institute of Technology - Passadena, 1976.

## RESUMO

Como introdução são apresentados alguns aspectos das relações entre modelos e escalas de medição de dados ambientais. O geoprocessamento é apresentado como conjunto de técnicas capaz de considerar com eficiência, complexos problemas analisados. A modelagem digital de ambientes através de Sistemas Geográficos de Informação - que são definidos como estruturas heurísticas - é distribuída em termos das escalas de medição (nominal, ordinal, intervalo e razão) e de metodologia de investigação que abrange, entre outras as técnicas básicas de assinaturas, monitorias e avaliações ambientais, que podem levar ao mapeamento prospectivo de impactos ambientais.

## ABSTRACT

As an introduction, some aspects of the relationship between modelling and environmental data registration scales are commented. Geoprocessing is presented as an assemblage of techniques to cope, efficiently, with complex environmental data needs to be properly considered. Digital environmental modelling through GIS - defined as heuristic structures - is discussed in regard to the data registration scales (nominal, ordinal, interval and ratio) and to a specific investigation methodology which comprises, among other techniques, environmental monitoring, identification of environmental signatures and ordinal evaluations, which are techniques that may lead to environmental impact assessment.