

ZONEAMENTO PARA PLANEJAMENTO AMBIENTAL: VANTAGENS E RESTRIÇÕES DE MÉTODOS E TÉCNICAS¹

*João dos Santos Vila da Silva²
Rozely Ferreira dos Santos³*

RESUMO

Vários autores reconhecem que o planejamento ambiental deve ser feito segundo uma visão integradora do meio, e que o zoneamento é sua linha mestra. Apesar disso, ele é geralmente concebido a partir de modelos estruturados de forma subjetiva. O zoneamento utiliza muito pouco as abordagens quantitativas e raramente parte de uma análise metodológica multivariada. Alguns autores têm enfatizado a necessidade de desenvolver estratégias metodológicas que efetivem resultados quantitativos e mais bem relacionados ao meio, os quais, ao mesmo tempo, simplifiquem a expressão das respostas obtidas. No entanto, esse caminho ainda é, muitas vezes, impreciso e ambíguo, necessitando, por isso, de aprimoramento, com o desenvolvimento de uma base conceitual clara e integradora. Este trabalho objetiva apresentar as atuais perspectivas trazidas nesta matéria, bem como as vantagens e as restrições da aplicação dos principais métodos relatados em literatura. Entre os principais tipos de abordagem para zoneamento – álgebra booleana e análise multivariada –, o segundo mostra-se mais promissor para a integração de dados, podendo as zonas ser mais bem qualificadas e quantificadas pelas técnicas de agrupamento e análise de correspondência.

Palavras-chave: sistema de informações geográficas, análise multivariada, interdisciplinaridade.

ZONING FOR ENVIRONMENTAL PLANNING: ADVANTAGES AND RESTRICTIONS OF THE METHODS AND TECHNIQUES

ABSTRACT

Several authors recognize that environmental planning must be accomplished within an integrated concept of the environment and that zoning is its main line. Nevertheless,

¹ Aceito para publicação em julho de 2004.

² D.Sc. em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Av. André Tosello, 209, Barão Geraldo, Caixa Postal 6.041, 13083-886, Campinas, SP, jvilla@cnptia.embrapa.br

³ Doutora em Ciências Biológicas (Botânica), professora do Departamento de Saneamento e Ambiente, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Campinas – Unicamp/FEC, Av. Albert Einstein, 951, Barão Geraldo, Caixa Postal 6.021, 13084-971, Campinas, SP, roze@fec.unicamp.br

it is commonly conceived starting from subjectively structured models. Usually, this zoning utilizes little quantitative approaches and rarely starts from a multivariate analysis. Authors have emphasized the need to develop methodological strategies that produce quantitative results and are better related to the environment, at the same time that simplifying the output. Therefore, this quantitative approach is still inaccurate and ambiguous, asking for a better reflection, and development of a clear conceptual and integrated foundation. This way, the present work aims to present the current perspectives of this matter, showing its advantages and restrictions concerning the applications of the main methods found in literature. Among the main methods employed in zoning, like Boolean methods and multivariate analysis, the latter appears to be most qualified for data integration. With such a method, zones can be better qualified and quantified using clustering techniques and correspondence analysis.

Key-words: geographic information system, multivariate analysis, interdisciplinarity.

INTRODUÇÃO

Os modelos de zoneamento elaborados como linha mestra do planejamento são, na sua maioria, concebidos para serem executados sob critérios qualitativos, utilizando muito pouco as abordagens quantitativas. Alguns autores, como Pablo (2000), consideram a necessidade de se desenvolverem propostas metodológicas que identifiquem zonas a partir da seleção de atributos ambientais mapeáveis, e de medidas quantitativas que agrupem ou expressem as múltiplas interações entre eles. Magnusson (1999) alerta para a necessidade da análise estatística nos projetos integrados, e critica fortemente as instituições que atualmente trabalham com a multidisciplinaridade e a multiinstitucionalidade sem estarem preparadas, academicamente, para efetivar uma correta avaliação das propostas de planejamento. Ressalta que o trabalho com escalas adequadas, fluxogramas, mapas e matrizes versus variáveis a serem analisadas seria fundamental para o desenvolvimento dessas abordagens. Em outras palavras, a tendência seria, então, avaliar a organização do espaço em sua totalidade, mas por uma análise múltipla e integradora, de forma que as porções territoriais representem o conjunto de fatores ambientais a que estão solidamente ligados.

O desafio é reavaliar as estratégias metodológicas para zoneamento dentro dos planejamentos ambientais, de maneira que o reconhecimento e a sistematização das realidades complexas deverão seguir um caminho que simplifique a ação do “fazer”, que simplifiquem a expressão dos resultados

obtidos, que sejam de fácil acesso e repetição por aqueles que trabalham e/ou necessitam dessa área do conhecimento e, principalmente, que forneçam medidas estatísticas robustas sobre as características e as relações do meio em que se trabalha.

PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Planejamento ambiental é um processo contínuo que envolve coleta, organização e análise sistematizada das informações, por meio de procedimentos e métodos, para se chegar a decisões ou escolhas acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis em função de suas potencialidades, e com a finalidade de atingir metas específicas no futuro, tanto em relação a recursos naturais quanto à sociedade (Fig. 1). Um importante papel do planejamento ambiental é o de direcionar os instrumentos

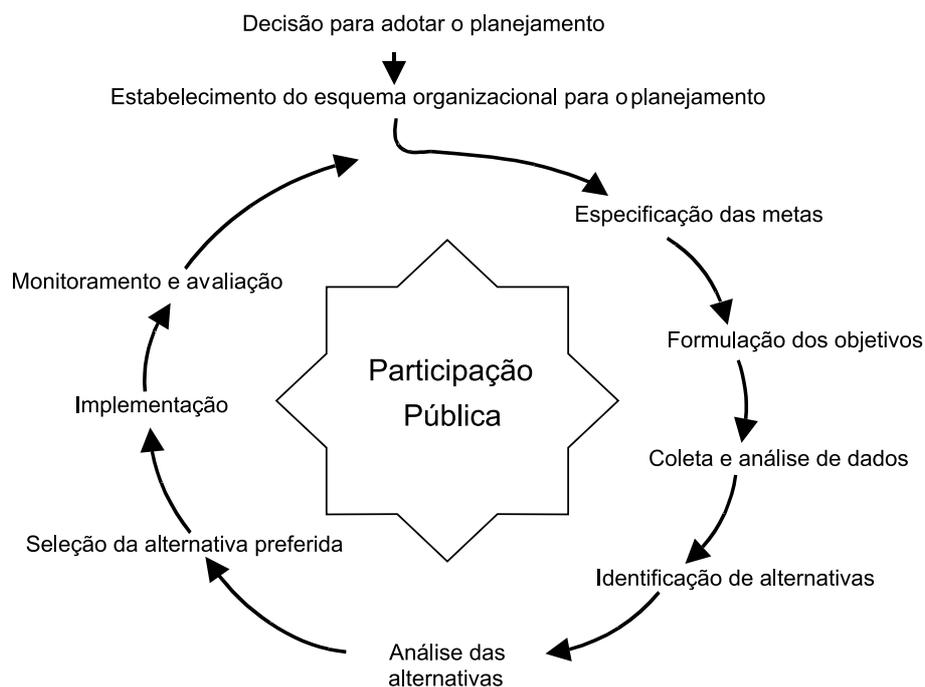


Fig. 1. Etapas do processo de planejamento.

Fonte: Fidalgo (2003, p. 10).

administrativos, legislativos e de gestão para o desenvolvimento de atividades num determinado espaço e tempo, incentivando a participação institucional e dos cidadãos e induzindo relações mais estreitas entre sociedade e autoridades regionais. Em planejamentos ambientais, é fundamental entender a cultura e as formas específicas com que as populações manejam seus recursos naturais. Também é fundamental uma previsão acurada e integrada dos impactos oriundos de ações, manejos e projetos propostos para a área de planejamento, bem como a intensidade da pressão direta ou indireta que eles impõem sobre o local.

Cumprir tal missão é uma tarefa complexa. É necessária a adoção de sistemas de planejamento que identifiquem e integrem componentes biofísicos, econômicos, sociais e institucionais, observando a estrutura e a função dos sistemas naturais ou antrópicos, de forma a compreender os seus comportamentos diante das perturbações. Os componentes e seus intrincados sistemas devem ser avaliados em função de um espaço e de um período de tempo (WESTMAN, 1985; SANTOS e MOZETO, 1992; BALLESTER et al., 1995; SEIFFER, 1998).

O processamento concomitante das informações, em toda a sua complexidade, tem sido possibilitado pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), definidos como tecnologias para investigação dos fenômenos ambientais que combinam os avanços tecnológicos da cartografia, banco de dados automatizados, sensoriamento remoto e modelagem.

OBSTÁCULOS PARA REALIZAR ESTUDOS INTEGRADOS

Trabalhar em planejamento ambiental é trabalhar com a interdisciplinaridade, em que cada disciplina, como já definiu Teixeira (1995), tem seu corpo próprio de conceitos, sua forma de definir os problemas e seus métodos de pesquisa. Ainda segundo esse autor:

“um dos obstáculos para o avanço da prática interdisciplinar é o problema da integração analítica dos processos naturais (físicos, biológicos) e sociais. A esse respeito cabem duas observações. De uma parte, há o entrave principal à integração representado pelas diferenças de escala de observação dos fenômenos entre as diferentes disciplinas, tanto, do ponto de vista temporal

(periodicidade), quanto do espaço de apreensão (ecossistema, cultura, região, etc.)”

Já foi citado que, para analisar os fatos ambientais em toda as suas diversidade e complexidade, é necessário conhecer as interações entre os sistemas naturais e as condições de funcionamento dos sistemas sociais. Esses dois sistemas se organizam segundo propriedades estruturais e dinâmicas diferentes, com condições intrínsecas de funcionamento. Dessa forma, integrá-los efetivamente é um desafio científico que exige compatibilizar conceitos e escalas espaciais e temporais de observação, mostrar clareza na formulação das questões a serem tratadas e apresentar métodos que conduzam, eficientemente, o cruzamento de todas as informações.

Como princípio, é necessário um esforço para se fazer entender pelos outros pesquisadores envolvidos no processo, não se fechando na própria especialidade. Não se pode predefinir um método de integração – como geralmente ocorre nos planejamentos, com escolha a priori do método da sobreposição –, sem estar atento a conceitos, caminhos de obtenção e espacialização de dados de cada especialidade.

Segundo Jollivet e Pavé, citados por Zanoni e Raynaut (1994), a correta execução de estudos interdisciplinares implica inicialmente a noção clara do conceito “ambiente” pelo indivíduo do grupo, e esta é “multicêntrica”, ou seja, muda de conteúdo em função do objeto-centro por meio do qual ela é pensada, pois, de acordo com cada profissional, o termo poderá ser aplicado de forma alternativa; *ela faz intervir a complexidade*, ou seja, o que era disciplinar deve ser pensado, hoje, em seu conjunto, isto é, em função das múltiplas interações que os unem; e *ela exige uma diversidade de escalas de abordagem*, ou seja, os processos se desenvolvem por meio de múltiplas escalas de espaço e tempo e movimentam uma enorme diversidade de níveis de organização: o local e o global, o instante e o tempo geológico, a molécula e o ecossistema devem, freqüentemente, ser levados em consideração na elaboração do modelo explicativo (Fig. 2).

Ainda baseado em Zanoni e Raynaut (1994), para uma efetiva e eficiente colaboração entre as disciplinas, duas questões fundamentais precisam estar claramente definidas: a metodologia adotada e a organização prática do trabalho. Dada a complexidade do trabalho, necessita-se de uma rigorosa organização dos procedimentos da pesquisa integrada, considerando um tempo

para discussão, a definição dos níveis de abordagem do planejamento (fluxograma organizacional, operacional, estrutura de planos e programas) e um calendário de execução. O trabalho coletivo deve organizar-se de maneira que todos compartilhem de um conjunto de hipóteses de trabalho e de objetivos que definam um rumo comum. Cada um deve saber o lugar que assume na pesquisa e com quem deve colaborar para tanto; da mesma forma, conhecer as operações concretas nas quais irá encontrar-se no trabalho de campo e em que condições poderão aplicar os instrumentos de sua disciplina. A colaboração de outros exige, muitas vezes, tolerar certas acomodações nas condições de sua própria prática.

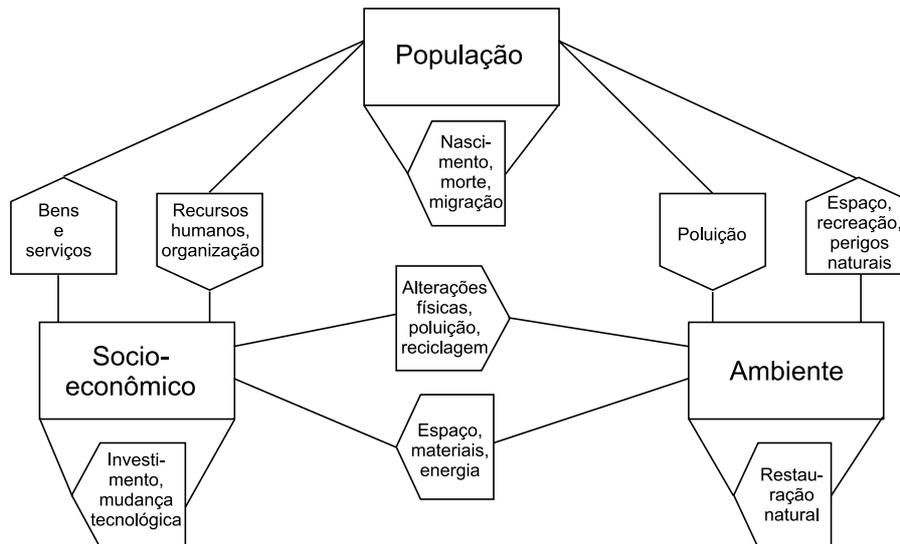


Fig. 2. Relações que devem ser consideradas em planejamentos entre os subsistemas populacional, ambiental e socioeconômico.

Fonte: Modificado de Bakker et al. (1994).

Na organização do trabalho, a circulação das informações é exigência básica, e deve estar devidamente esclarecida quanto a representações conceituais, métodos e linguagens das diversas disciplinas. Em suma, o que se quer ressaltar é que, antes de selecionar um método integrador, são necessários alguns cuidados em relação aos temas apresentados, sem os quais nenhum

método se viabiliza, por mais eficiente que possa aparentar. Assim, é importante garantir que ocorra a cooperação científica entre os membros da equipe planejadora, ultrapassando seus conhecimentos por meio de uma perspectiva teórica de conjunto, que compreendam os limites impostos por seus procedimentos metodológicos e suas linguagens técnicas e que se proponham a ter uma formação complementar, de integração com outras disciplinas. Se essas barreiras foram ultrapassadas, então o grupo estará devidamente pronto para debater o melhor caminho metodológico de abordagem integrada.

Muitas deficiências hoje detectadas em planejamentos são provenientes de uma postura já identificada por Zanoni e Raynaut em 1994. Segundo esses autores, observa-se, nas instituições de ensino e pesquisa, a construção dos territórios de poder sobre os territórios intelectuais. Alguns profissionais, após a criação do seu símbolo emblemático de sucesso científico, apresentam séria resistência em relação a uma nova postura científica que coloque em risco a lógica de seu procedimento. Os critérios de avaliação científica, baseados no que cada disciplina estabelece, não contemplam a interdisciplinaridade. Para sair desse impasse, o desafio deve ser tomado no plano institucional, criando-se mecanismos para treinamento, discussão e avaliação de trabalhos dessa natureza. Igualmente, deve-se pensar no estabelecimento de um quadro específico de legitimação do trabalho científico interdisciplinar, promovendo seus próprios procedimentos de reconhecimento, avaliação e validação.

Expressar a complexidade ambiental, compatibilizar conceitos e escalas, integrar disciplinas, organizar procedimentos, selecionar o método integrador do conhecimento e obter critérios de avaliação – esses são, de forma muito comum, os pontos nevrálgicos que conduzem o grupo planejador a confrontos e controvérsias.

ZONEAMENTO AMBIENTAL

Em planejamentos ambientais, é comum adotar a estratégia de avaliar um território por meio de seu zoneamento – método apontado como integrador de informações ambientais. “Zoneamento” é a identificação e a delimitação de unidades ambientais em um determinado espaço físico, segundo suas vocações e fragilidades, acertos e conflitos, determinadas a partir dos elementos que compõem o meio planejado. Seu resultado é a apresentação de um conjunto

de unidades, cada qual sujeita a normas específicas para o desenvolvimento de atividades e para a conservação do meio. Segundo Cadavid García (1991), zoneamento é mais que identificar, localizar e classificar atributos de um território. Deve ser entendido, também, como o resultado de análises dinâmicas e regionalização de atributos relevantes, obtendo, conseqüentemente, a integração dessas análises. Geralmente, no planejamento ambiental, as formulações de propostas, implementações e execuções são efetivadas sobre as unidades de planejamento, que podem abranger uma ou mais unidades de zoneamento.

Zoneamento é um trabalho interdisciplinar passível do uso de análise numérica (quantitativo), dentro do enfoque analítico e sistêmico, e com vista a orientar a revisão e/ou formulação de políticas de pesquisa e conservação e manejo integrado de recursos naturais. O enfoque analítico refere-se à definição da regionalização, de inventários e diagnósticos temáticos dos atributos mais importantes, enquanto o enfoque sistêmico diz respeito à estrutura proposta para a integração de diagnósticos, prognósticos e síntese para cada conjunto de informações.

Assim como o planejamento, o zoneamento também é freqüentemente adjetivado, sendo comum encontrarem-se vários tipos de zoneamento. Entre eles, alguns estão especificados na legislação brasileira (Tabela 1).

Tabela 1. Alguns tipos de zoneamentos existentes no Brasil.

Exemplos de tipos de zoneamentos	
Previstos na legislação brasileira	Não-previstos na legislação brasileira
Urbano	Geoambiental
Industrial	Ecológico
Ruído	Agrícola
Estatuto da Terra	Agropedoclimático
Agroecológico	Climático
Unidades de Conservação (Lei SNUC)	Edafoclimático por cultura agrícola
Ecológico-econômico (ZEE)	Locação de empreendimentos
Uso e atividades (Gerco)	
Ambiental	

Sob o ponto de vista metodológico, pode-se dizer que o zoneamento geoambiental baseia-se na teoria de sistemas (BRASIL, 1984), o ecológico trabalha com o conceito de unidades homogêneas da paisagem (PIVELLO et al., 1998; BECERRA, 1999), o agrícola define zonas a partir da determinação das limitações das culturas, exigências bioclimáticas e riscos de perdas de produção agrícola (ROSSETI, 2001), o agropedoclimático faz a abordagem integrada entre as variáveis climáticas, pedológicas e de manutenção da biodiversidade (CHAGAS et al., 2001) e o agroecológico interessa-se pela aptidão agrícola e pela limitação ambiental para ordenamento dos meios rural e florestal (SÁNCHEZ, 1991). O zoneamento voltado à locação de empreendimentos define zonas de acordo com a viabilidade técnica, a econômica e a ambiental de obras civis (GRIFFITH, 1989; SOUZA, 1990; RANIERI, 2000), o urbano e industrial em função da potencialidade ou fragilidade do meio para suportar usos e tipos específicos de construções ou atividades, o de ruído em relação aos prováveis danos à saúde, e o Estatuto da Terra (Lei nº 4.504 de 30/11/64, Decretos nº: 55.891, de 31/3/65, e 68.153, de 1/2/71), sob a perspectiva socioeconômica e das características da estrutura agrária. Já as Unidades de Conservação (Lei nº 9.985, de 18/7/00) determinam as unidades ambientais basicamente em função da preservação ou da conservação da biodiversidade. O zoneamento ecológico-econômico estabelece as normas de uso e ocupação da terra e de manejo dos recursos naturais a partir das características ecológicas e socioeconômicas, e o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC da Lei nº 7.661, de 16/5/88) visa apontar e orientar o uso dos recursos comuns à zona costeira, protegendo todo seu patrimônio.

Esses exemplos têm a intenção de mostrar que os zoneamentos, independentemente dos adjetivos a que estão associados, atingem um resultado comum – a definição de zonas, mas sua concepção pode ser bastante diferenciada, o que induz caminhos metodológicos bem distintos entre si, seja em função do objetivo, seja em função do objeto. É também importante destacar que unidade ou zona ambiental é um nome propício para porções territoriais que realmente representam integração dos elementos do meio. Quando as zonas se estabelecem por um pequeno conjunto de critérios, não podem ser consideradas “ambiental”, pois não representam as interações do meio.

São Paulo (1996a) ressalta que a metodologia inicial proposta para o zoneamento costeiro era muito genérica, não atendendo as necessidades práticas dos estados brasileiros. Em função disso, a metodologia foi sendo adaptada, resultando no zoneamento ecológico-econômico, visto hoje como o instrumento básico de planejamento. Conforme descrito em Brasil (2001, p. 17), “o ZEE tem sido, nos últimos anos, a proposta do governo brasileiro para subsidiar as decisões de planejamento social, econômico e ambiental do desenvolvimento e do uso do território nacional em bases sustentáveis”. Nesse sentido, o zoneamento ecológico-econômico tem uma visão sistêmica que propicia a análise de causa e efeito, permitindo estabelecer as relações de interdependência entre os subsistemas físico-biótico e socioeconômico. Pesa, em seu conteúdo, o diagnóstico da estrutura e da dinâmica ambiental e econômica, bem como do patrimônio biológico e cultural do País.

O zoneamento ambiental foi apontado na Lei nº 6.938, de 31/8/1981, que prevê preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, desenvolvimento socioeconômico e proteção à dignidade humana. Trabalha, essencialmente, com indicadores ambientais que destacam as vocações e as fragilidades do meio natural. Sánchez e Silva (1995, p. 48) afirmam que ...” o ato de zonedar um território corresponde a um conceito geográfico de regionalização que significa desagregar o espaço em zonas ou áreas que delimitam algum tipo de especificidade ou alguns aspectos comuns, ou áreas com certa homogeneidade interna”. Lanna (1995) lembra que esse tipo de zoneamento deve assegurar, pelo menos em longo prazo, a equidade de acesso aos recursos naturais, econômicos e socioculturais.

Verifica-se, portanto, que zoneamento apresenta diversas adjetivações, e cada adjetivo induz o uso de uma estratégia metodológica específica. O zoneamento ambiental deve representar, metodologicamente, as interações do meio, segundo um enfoque sistêmico. Deve ser elaborado com o propósito de preservar, conservar e orientar o uso dos recursos, garantindo equidade e melhorando a qualidade do meio.

BASES CONCEITUAIS PARA A DEFINIÇÃO DAS UNIDADES DE ZONEAMENTO

Conceitualmente, zonas ou unidades de zoneamento referem-se aos espaços identificados em um território, que apresentam uma certa

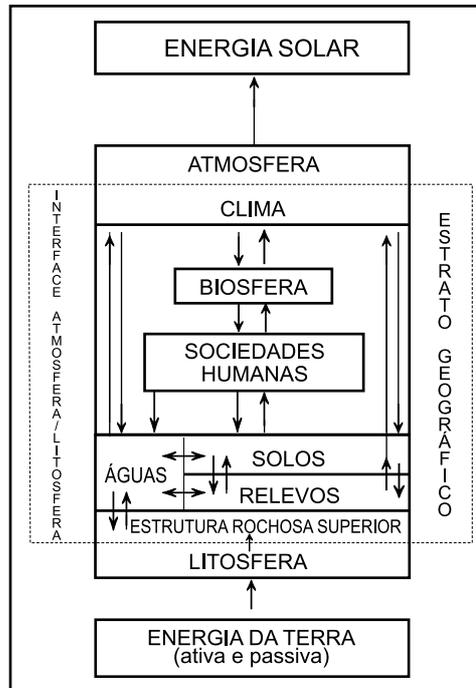
homogeneidade interna em função de suas variáveis ambientais, passíveis de serem delimitadas no eixo horizontal do espaço, numa escala definida. São determinadas por agrupamentos onde as variáveis ambientais (componentes, fatores e atributos) apresentam alto grau de associação e significativa diferenciação entre os grupos. Ou seja, é fundamental reconhecer suficientemente as similaridades dos elementos componentes de um grupo e, simultaneamente, claras distinções entre os grupos vizinhos. Os componentes ambientais seriam as temáticas do meio biofísico e socioeconômico; os fatores referem-se aos temas utilizados em cada temática, tais como geologia, solo, uso da terra, dentre outros, e os atributos seriam os dados e informações obtidas de cada fator ambiental. A delimitação dessas zonas leva em consideração o conceito de organização hierárquica da natureza e a inter-relação entre os fatores ambientais.

É de interesse que os zoneamentos considerem, metodologicamente, a representação do conceito da organização de hierarquia da natureza de Naveh e Lieberman (1994), onde o universo é considerado como uma organização, ou seja, um todo ordenado de uma hierarquia de sistemas estratificados em vários níveis, onde cada nível superior é composto de níveis inferiores. Essa regra de organização hierárquica é exibida por todas as estruturas complexas e processos de um caráter relativamente estável. A hierarquia entre os níveis se expressa em subsistemas; uma estrutura englobando subestruturas; um processo que ativa subprocessos, e assim por diante. O zoneamento também deve considerar que a representação das inter-relações existentes entre os fatores ambientais é mais bem entendida a partir da compreensão dos fluxos de matéria e energia entre componentes da natureza e da sociedade (Fig. 3).

Na prática, apesar de a comunidade acadêmica reconhecer a importância desses conceitos, eles são muito pouco aplicados para a definição de zonas. Os temas são, simplesmente, desenhados em mapas que, por sua vez, são sobrepostos, gerando um resultado bastante estático. Na realidade, há outras formas de se obter as unidades de planejamento, que não sejam por meio do zoneamento conforme anteriormente conceituado. Como descrito a seguir, existem muitas definições para “zonas” dentro de diversas áreas do conhecimento.

Fig. 3. Fluxos de energia e matéria entre as componentes da natureza e da sociedade humana.

Fonte: Brasil (1997a).



A identificação e a delimitação de zonas podem estar diretamente ligadas às concepções sobre a paisagem ou espaço geográfico, discutidas em disciplinas como a Geografia e a Ecologia. De acordo com Metzger (2001), um estudioso da Ecologia da Paisagem, a abordagem geográfica se preocupa com o estudo das paisagens modificadas pelo homem e o planejamento da ocupação territorial, em função do conhecimento dos limites (fragilidades) e das potencialidades (vocações) de cada “unidade de paisagem” – um espaço de terreno com características comuns. Essa abordagem aplica-se mais a macroescalas. De outra forma, a abordagem ecológica tem aplicação em uma ampla gama de escalas e enfatiza as unidades da paisagem como cada unidade componente da paisagem, como um ecossistema, por exemplo.

Para Forman e Godron (1986, p. 11), “a paisagem é uma área heterogênea composta por agrupamentos de ecossistemas interativos que se repetem através de uma forma semelhante”, podendo ser interpretadas como unidades. Para Urban et al. (1987, p. 119) “a paisagem é um mosaico de formas heterogêneas,

tipos de vegetação e usos da terra”. Numa visão mais abrangente Metzger (2001, p. 4) define a paisagem como “um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação”. De acordo com Skopek et al. (1991), o estudo de paisagens requer uma organização hierárquica para avaliar os processos de estabilização-desestabilização, assumindo que as interações num nível superior não são exatamente a soma das interações inferiores, mas representam qualitativamente um nível mais alto. Os conceitos apresentados enquadram-se nessa linha de hierarquização e, quando aplicados, refletem melhor a dinâmica das áreas do que o zoneamento tradicional.

Uma primeira dificuldade em se aplicar tal estratégia está ligada à noção de homogeneidade e heterogeneidade na natureza, que é muito relativa e dependente da percepção intelectual de cada indivíduo. A compreensão do ambiente pelo indivíduo é influenciada pela sua formação, pela sua capacidade de perceber as múltiplas interações e processos existentes, que envolvem diversas escalas de abordagem (espacial e temporal). Para Metzger (2001, p. 6), “o reconhecimento da homogeneidade ou heterogeneidade de um objeto está diretamente ligado à questão da escala: praticamente qualquer porção de terra é homogênea numa escala mais abrangente e heterogênea quando vista numa escala mais detalhada”. Essa questão também já foi apresentada por Zonneveld (1989). Nesse sentido, o que se imagina homogêneo nem sempre é de fato. Em Pedreira (1998), são discutidas questões sobre a influência da escala em mapeamentos para planejamento ambiental, considerando o mapeamento tradicional e sob a ótica da paisagem, demonstrando que as diferenças entre homogeneidade e heterogeneidade são menores entre as macropaisagens.

Segundo Zonneveld, citado por Naveh e Lieberman (1994), o “ecótopo” é a menor unidade de terra (land unit) homogênea, caracterizada por pelo menos um dos atributos da terra na geosfera, isto é, atmosfera, vegetação, solo, rocha, água, etc., variando muito pouco nos outros atributos. Essa unidade de terra, segundo Zonneveld (1989), é uma área de terra ecologicamente homogênea num determinado nível de escala, que se relaciona, na paisagem, nos níveis topológicos (verticais) e corológicos (horizontais). As relações topológicas seriam, por exemplo, as trocas via raízes das plantas transportando

minerais e água, enquanto as relações corológicas seriam as influências da água e minerais transportados de uma unidade para outra, criando uma zona de transição. Os níveis hierárquicos da paisagem, em ordem decrescente, seriam a paisagem principal (main landscape) ou macrocoro, que é a combinação de um sistema de terra numa região geográfica; o sistema de terra (land system) ou mesocoro, que é uma combinação de fácies da terra (land facet), formando uma adequada unidade de mapeamento numa escala de reconhecimento; a fácies da terra ou microcoro, que é a combinação de ecótopos formando um padrão espacial relacionado fortemente a propriedades de, pelo menos, um atributo da terra; e o ecótopo, já definido inicialmente.

Gallopin (1982) propõe uma metodologia para regionalização de variáveis ambientais, útil ao planejamento ambiental, com algumas semelhanças com a classificação proposta por Zonneveld. Nesse estudo, a “região” seria qualquer unidade espacial ou área determinada com base na existência de características relativamente comuns entre os pontos que se encontram no interior dos limites estabelecidos para identificá-la; as “áreas ambientais naturais homogêneas (AANH)” seriam as unidades nas quais existe uma homogeneidade relativa num determinado nível de percepção, considerando as principais variáveis do ambiente natural; e os “elementos ambientais unitários (EAU)” seriam unidades espaciais com a máxima homogeneidade interna, num determinado nível de percepção. Esses elementos deveriam, se possível, ser homogêneos em todas as suas variáveis relevantes, para que pudessem ser recombinados de várias maneiras, para formarem as AANHS e regiões. De acordo com esse autor, as áreas não devem ser nem muito gerais nem muito específicas (pequenas e numerosas), pois podem perder a operacionalidade.

Outra alternativa conceptual e metodológica de “zona” é dada por Pablo (1993, 2000), por meio de premissas de cartografia ecológica e de planejamento. Para esse autor, é importante reconhecer que existem zonas dentro do território que são homogêneas, determinadas pelas interações entre seus elementos. Essas zonas são denominadas, por ele, de “unidades ambientais”, possuindo extensão, delimitação e composição uniformes, sendo possível reconhecê-las em diferentes escalas espaciais e dispostas segundo uma hierarquia de diferentes extensões e homogeneidade interna. As características ecológicas do território são estabelecidas dentro de uma hierarquia de “setores” e “subsetores”

territoriais com área e homogeneidade interna diferentes. As interações entre seus elementos resultam nos seus arranjos espaciais, de forma que seja possível reconhecer estruturas características para delimitar esses setores. A estrutura ecológica do território é considerada como sendo o resultado das coincidências espaciais de numerosas variáveis físicas e biológicas e das conexões (fluxos de energia e matéria) entre esses setores territoriais (AGAR et al., 1995). Dessa maneira, um setor, num determinado nível hierárquico, poderia corresponder a uma unidade de planejamento.

Unidade geoambiental é um outro termo encontrado para apontar e delimitar uma porção territorial específica. Em Mato Grosso do Sul (1989), as unidades geoambientais (definida pelo geossistema e geofácies) exprimem as relações horizontais existentes entre litologia-estrutura-relevo, relevo-solo-água e as respostas ecológicas dadas pelos seres vivos. A homogeneidade interna inerente a cada unidade de mapeamento possibilita a classificação ou a tipologia, e as unidades menores de agrupamentos são formadas pelos geossistemas e geofácies. Para Christofolletti (1995), o geossistema seria o sistema ambiental físico propriamente dito, mas, para Silva, citado por Moreira (1995), o geossistema ou sistema ambiental seria formado por certos arranjos espaciais, caracterizados pela convergência de semelhança dos seus componentes físicos e bióticos. São compartimentos morfoestruturais, onde se identificam combinações dos tipos genéticos de modelados e de solos, originando associações morfopedológicas, as quais se correlacionam às comunidades vegetais. Mato Grosso do Sul (1989) também utiliza esse conceito. As geofácies seriam as menores unidades de mapeamentos dentro do geossistema, com características semelhantes.

Em conformidade com o Plano de Gerenciamento Costeiro do Estado de São Paulo, as zonas específicas (ou unidades de zoneamento) definidas neste documento são

“as unidades territoriais que, por suas características físicas, biológicas e socioeconômicas, bem como por sua dinâmica e contrastes internos, devam ser objeto de disciplina especial, com vista ao desenvolvimento de ações capazes de conduzir ao aproveitamento, à manutenção ou à recuperação de sua qualidade ambiental e do seu potencial produtivo” (São Paulo, 1996b, p. 61).

Para Sánchez e Silva (1995, p. 45), o zoneamento desagrega a paisagem em zonas com algum tipo de especificidade ou com certa homogeneidade

interna, estabelecendo uma “unidade territorial perceptível”, para efeito de análise. Essa unidade constitui-se em “uma porção da superfície terrestre onde seus componentes específicos e sua heterogeneidade interna definem inter-relações mais estreitas do que com os componentes das áreas vizinhas”. Sugerem, assim, uma análise do tipo clustering, que aproxima ou distancia porções do espaço em função das similaridades ou dissimilaridades.

Para Becker e Egler (1997, p. 17), a análise da homogeneidade em planejamentos deve ser substituída pela complexidade (análise compreensiva da paisagem), em função da interação dinâmica dos meios natural e socioeconômico. Nesse sentido, a “unidade territorial básica (UTB)”, entendida como “uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais”, é a unidade elementar para o zoneamento. Esse mesmo conceito é utilizado por Medeiros (1999) e Brasil (2001).

Em síntese, observa-se que unidades de zoneamento apresentam diferentes conceitos e adjetivações e são obtidas por várias estratégias metodológicas, dependendo das premissas conceituais. O desenho da unidade de zoneamento ambiental deve considerar a organização hierárquica da natureza e representar as interações entre os meios físico, biótico e socioeconômico. A estratégia que melhor representará a unidade ambiental é a avaliação da paisagem que quantifica as relações observadas.

No Brasil, já foram desenvolvidos trabalhos que utilizam o conceito de zoneamento ou identificação de zonas, sob as mais diferentes perspectivas apresentadas. Aliás, talvez em virtude das semelhanças conceituais entre algumas delas, observam-se alguns deslizes em sua aplicação metodológica. É, por exemplo, comum alguns autores discutirem seus dados como se estivessem trabalhando com a abordagem ecológica ou geográfica da ecologia da paisagem e, na realidade, estão aplicando, metodologicamente, o zoneamento tradicional resultante da simples sobreposição de mapas temáticos.

Salienta-se também que a maior parte dos zoneamentos são estáticos e qualitativos, mas podem ser citados estudos que agregam variáveis para auxiliar a interpretação das zonas ambientais, como os de Aguiar (1995), Fontes (1997); Luz (2000) e Ranieri (2000), que incluem análises quantitativas com pesos ou valoração; ou os estudos voltados para o zoneamento agrícola (Sans et al.,

2001; Maluf et al., 2001; Brunini et al., 2001; Farias et al., 2001; e Silva e Assad, 2001), que utilizaram dados quantitativos e modelos probabilísticos, ambos com uso de SIGs. Os estudos de São Paulo (1996b), Kurkdjian et al. (1992) e Silva (2000), por exemplo, utilizaram SIGs em algumas de suas fases, mas a integração das informações dos diferentes temas foi realizada de maneira subjetiva, alguns por meio de sucessivas reuniões técnicas, e os mapas derivados foram construídos sem o uso de regras em SIGs. Até o presente momento, não existem estudos que, efetivamente, demonstrem as interações entre os elementos do meio, nem naturais nem sociais.

Na verdade, os atuais modelos de zoneamento e planejamento, na sua maioria, são concebidos para serem executados subjetivamente, utilizando muito pouco as abordagens estatísticas para análise numérica. Quando muito, usam análises estatísticas univariadas, e raramente utilizam análise multivariada, como pôde ser verificado nos estudos citados. Hoje, a perspectiva de avanço é associar técnicas de geoprocessamento implementadas em SIGs a técnicas de análise multivariada, para identificação de unidades de zoneamento num dado território, como descrito adiante.

SIGs COMO INSTRUMENTO PARA ZONEAMENTO

SIGs são conjuntos de programas computacionais utilizados para armazenar, analisar, manipular e gerenciar dados geográficos, com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies. Não devem ser confundidos com geoprocessamento, que é um conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados. Aos SIGs podem ser atribuídas diversas funções (MOLDES TEO, 1995; CÂMARA et al., 1996; SILVA, 1999), que estão estreitamente ligadas às atividades necessárias para produzir zoneamentos ambientais. São elas: representar a maioria de entidades gráficas (linhas, pontos, símbolos, redes, imagens) em coordenadas geográficas ou cartesianas; gerenciar base de dados alfanuméricos e gráficos; trabalhar com uma grande quantidade de dados; identificar relações topológicas; permitir consultas e simulações em base de dados, podendo gerar mapas; criar documentação alfanumérica; importar e exportar dados; integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de várias fontes (imagens de satélite, dados cartográficos, dados de censo, cadastro, modelos numéricos de terreno); combinar informações, por meio de algoritmos de manipulação,

para gerar mapeamentos derivados; consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo de base de dados geocodificados e georreferenciados, podendo resultar em mapas específicos de acordo com a personalização implementada e com diferentes representações gráficas; e possibilitar a automação da atualização e revisão do material produzido.

Em suma, essas atribuições demonstram que os SIGs apresentam, pelo menos, os três requisitos básicos para produzir zoneamentos em planejamentos ambientais, ou seja, eficiência – acesso e modificações de grandes volumes de dados; integridade – controle de acesso por múltiplos usuários; e persistência – manutenção de dados por longo tempo, independentemente dos aplicativos que acessam os dados e sua possível revisão.

Os SIGs são bastante utilizados atualmente, no que se refere a estudos integrados sobre o meio ambiente. Diversas aplicações são encontradas em Coulson et al. (1991), Ripple (1994) e Morain (1999), sendo estes dois últimos referentes a dois compêndios sobre o uso de SIGs. Em Rodriguez-Bachiller (2000a, b), encontra-se uma revisão extensa com exemplos do potencial de SIGs associados a Sistemas Especialistas e Sistemas de Suporte à Decisão. Desenvolvimentos metodológicos podem ser vistos em Simões-Meirelles (1997) e em Medeiros (1999). Da mesma forma, em Pablo et al. (1994) há uma proposta de um sistema de informação para planejamento ambiental, objetivando facilitar a tomada de decisão governamental. Na proposta metodológica para zoneamento de áreas de proteção ambiental, Griffith et al. (1995) indicam o uso de SIGs como forma de agilizar a separação de unidades homogêneas inicialmente e auxiliar na tomada de decisões.

No Brasil, há diversos estudos integrados, com a utilização de SIGs, abrangendo diferentes tamanhos de áreas geográficas e distintos objetivos. Basicamente, podem-se identificar dois tipos de estudos: uniobjetivos e multiobjetivos. Os estudos uniobjetivos seriam aqueles direcionados para produtos ou temas, tais como zoneamento do café, zoneamento climático ou zoneamento agrícola, ou, ainda, aqueles estudos voltados para a análise da viabilidade ambiental de um determinado empreendimento, com o objetivo de otimizar o custo-benefício (econômico, social e ambiental) da sua implantação. Estes últimos se relacionam estreitamente com o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e buscam determinar a localização adequada da atividade em questão. Em Aguiar (1995), Fontes (1997), Manual (1999), Ranieri (2000), Sans et al.

(2001), Maluf et al. (2001), Brunini et al. (2001), Farias et al. (2001) e Silva e Assad (2001), podem ser encontrados exemplos desse tipo de estudo.

Os estudos multiobjetivos referem-se àqueles que procuram identificar unidades homogêneas no ecossistema sem a preocupação, a priori, de um empreendimento ou atividade a ser instalada. Porém, em função da vulnerabilidade e da aptidão do meio ambiente, buscam determinar uma série de indicações de uso e a construção de cenários alternativos. Exemplos desses estudos podem ser encontrados em Mato Grosso do Sul (1989, 1990), Kurkdjian et al. (1992), São Paulo (1996a, b), Brasil (1997b), Luz (2000) e Silva (2000). Em Simões-Meirelles (1997), verifica-se a avaliação da classificação *fuzzy* associada a SIGs, para apoio a zoneamentos, e, em Medeiros (1999), pode ser observado o uso de redes neurais artificiais e SIGs, também para auxiliarem em zoneamentos.

SIGs representam excelente ferramenta para planejamentos ambientais e zoneamentos, mas se reconhece que ocorrem erros de várias origens na interação do SIG com o sistema de planejamento formulado, principalmente no que se refere à formulação do banco de dados, à tecnologia selecionada, à incapacidade do SIG de representar as redes de interação e fluxos de diversos níveis, à limitação de representar processos ambientais, de incluir participação popular e, de forma comum, de não ser de fácil domínio diante da experiência da equipe de trabalho na manipulação e na interpretação dos resultados do sistema adotado. Santos et al. (1997) fazem uma revisão dessas questões e apontam vantagens, desvantagens e dificuldades de uso de SIGs nos estudos dessa natureza.

Em suma, SIGs são importantes para o zoneamento porque manipulam grandes volumes de dados ambientais e auxiliam nos seus gerenciamento e integração, mas não dispensam a interpretação do meio pelo planejador. A principal limitação dos SIGs para planejamento é sua incapacidade de representar redes de interação e fluxos de diversos níveis.

ANÁLISE NUMÉRICA E AVALIAÇÃO INTEGRADA

A análise numérica é um caminho que facilita a análise diante da complexidade dos dados ambientais, visto que normalmente as variáveis ambientais estão altamente inter-relacionadas, excedendo a capacidade dos

métodos estatísticos elementares. De maneira geral, em estudos ambientais, um determinado conjunto de condições do meio pode originar diferentes resultados, em virtude do grande número de variáveis ambientais que as influenciam, das quais muitas não são perceptíveis ao observador. Nas relações existentes entre as condições que cercam as observações ecológicas e seus resultados é que se encontra fundamentada a análise numérica. Legendre e Legendre (1998) descrevem muito bem essas situações. Segundo esses autores, há métodos numéricos para analisar os quatro tipos de relações existentes entre os dados ambientais:

- Modelos Determinísticos – Para relações determinísticas, em que é possível somente um resultado.
- Métodos de Análise Multivariada (ou Multidimensional) – Para relações aleatórias, em que há possibilidade de vários resultados.
- Teoria dos Jogos (*Game theory*) – Para as relações estratégicas, em que os resultados dependem da respectiva estratégia dos organismos e dos seus ambientes.
- Teoria do Caos (*Chaos theory*) – Para relações de incertezas, em que há muitas possibilidades e resultados imprevisíveis.

Contudo, a análise multivariada é o método mais empregado nas questões ambientais, permitindo análise simultânea de dados multidimensionais (compostos por várias variáveis) e estrutura conhecida na geometria como hiperespaço (espaço com muitas dimensões).

Na análise numérica, verifica-se uma série de abordagens que contribuem para o estudo de dados ambientais complexos, incluindo subsídios da álgebra matemática, da física matemática, da estatística e da teoria da informação (Fig. 4).

Deve-se considerar que o tratamento estatístico aplicado a uma base de dados ambientais de uma área e a geração ou a adaptação de modelos matemáticos e estatísticos não significam as únicas formas de análise e, menos ainda, não garantem que os elementos necessários de convicção e inferência, obtidos desses modelos, sejam os mais eficientes e robustos. O que se pretende dizer é que a análise numérica não constitui o objetivo do zoneamento em si mesmo, mas um instrumento aplicado às informações quantitativas, e que

deveria abranger cada temática ou fase do estudo, como já sugerido por Cadavid García (1991).

No caso de estudo integrado para zoneamento, é possível definir, a priori, regras de cruzamento entre os fatores ambientais ou atributos, a fim de delimitar as zonas homogêneas dentro da paisagem, como, por exemplo, classes de potencial erosivo ou classes de aptidão agrícola das terras, que podem ser delimitadas manualmente ou utilizando-se SIGs. Essas regras já são comuns

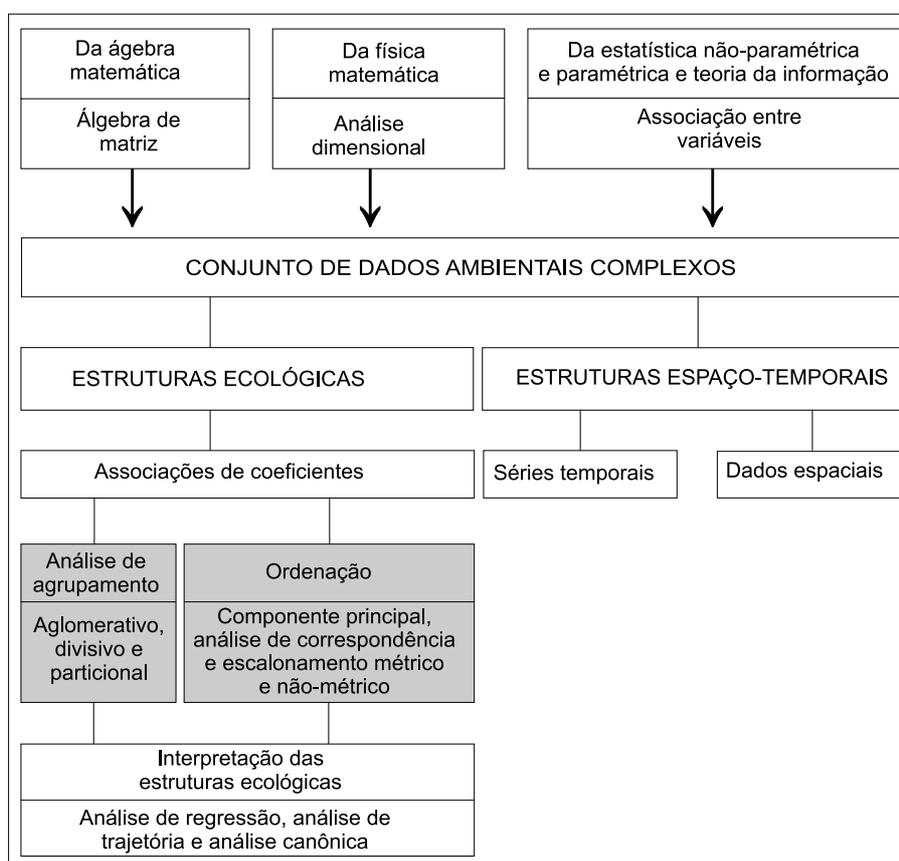


Fig. 4. Análise numérica para abordagens em conjuntos de dados ambientais complexos.

Fonte: Legendre e Legendre (1998).

em alguns SIGs e visam eliminar parte da subjetividade, tornando o processo mais rápido e eficiente, podendo ser testadas várias regras, adicionando ou retirando informações. A título de exemplificação, o tema “potencial de erosão” pode ser definido pela seguinte regra de cruzamento, utilizando o princípio da álgebra booleana: $CA_x = (CS_a \cup CS_b) \cap DEC_y \cap P_z$, em que CA_x é uma classe de potencial de erosão x ; CS_a e CS_b são classes de solo a e b ; DEC_y é uma classe de declividade y ; e P_z é a precipitação anual z em mm. Dessa maneira, onde ocorrerem os solos a ou b com uma quantidade anual z de chuva na classe de declividade y , a área tem potencial de erosão x .

Há outras maneiras de determinar e delimitar zonas, como, por exemplo, a análise multivariada, que trata da descrição integrada do ambiente mediante a detecção multivariada de suas relações espaciais mais relevantes. Conforme Pablo e Pineda (1985), esse tipo de análise busca uma visão global ou de conjunto, sem respeitar temas ou aspectos físicos individualizados e sem fazer suposições a priori sobre os parâmetros que vão desempenhar um papel importante na diferenciação de setores espaciais nas diferentes escalas, detectando-se tendências de variação e grupos de variáveis espacialmente relacionadas.

Avaliando uma área na província de Madri e utilizando parâmetros aplicados à teoria da informação e análise de agrupamento, Pablo et al. (1987) determinaram que as variáveis relacionadas a clima, vegetação e uso da terra possuíam maior poder de explicação na formação dos grupos, considerando uma determinada escala e o nível de similaridade obtido nos dendogramas de classificação.

No estudo de Pablo e Pineda (1985), utilizando-se a análise multivariada (análise de agrupamento e análise de correspondência), concluiu-se que:

- Uma grade regular de dados ambientais é útil para delimitar unidades territoriais homogêneas mapeáveis.
- Pode-se analisar estatisticamente uma grande quantidade de variáveis.
- A automatização da análise cria a possibilidade de efetuar rapidamente aproximações para a descrição integrada do território.

Os mapas obtidos apresentam, entre outras, as seguintes vantagens:

- As unidades territoriais homogêneas estão caracterizadas por variáveis indicadoras obtidas por uma função discriminante.

- As unidades espaciais podem desagregar-se ou agregar-se, segundo os níveis de similaridade obtidos nos dendogramas.
- Reduz-se a dimensionalidade na descrição temática do território, em função de que há variáveis ou estados de variáveis que são mais explicativas das interações ocorridas.
- A análise de diferentes variáveis temáticas é feita de forma integrada, proporcionando conhecimento de sua interdependência espacial em relação às unidades territoriais obtidas.

Técnicas multivariadas (análise de agrupamento e análise de correspondência) e parâmetros da teoria da informação foram utilizados por Calvo et al. (1992) na identificação e na delimitação de unidades ambientais. Em função das características topográficas, geológicas, de vegetação e de uso da terra, foram encontradas unidades ambientais internamente homogêneas, descritas em função dos parâmetros da teoria da informação. A análise multivariada permitiu determinar objetivamente as principais tendências na variação ambiental dentro da área de estudo, e como essas variações podem ser vistas do ponto de vista geográfico e ecológico.

A abordagem multivariada (análise de agrupamento e análise de componentes principais) também pode ser utilizada com a finalidade de reduzir conflitos ambientais ligados ao uso da terra, como apresentado por Bojórquez-Tapia et al. (1994). Do ponto de vista da análise numérica, os autores concluíram que os métodos de classificação e ordenação utilizados forneceram uma excelente estrutura para a integração de dados físicos, biológicos e socioeconômicos.

Mais voltado à definição de “zonas”, o estudo de Agar et al. (1995) mostra que a análise multivariada (análise de correspondência e análise de tendência de superfície) apresentou bons resultados na integração das relações espaciais entre os elementos de um sistema geográfico, possibilitando entender sua estrutura ecológica e espacializar os resultados (Fig. 5). Por esse caminho, foi possível reconhecer, globalmente, a inter-relação entre os elementos bióticos e abióticos, bem como a importância de cada variável ambiental ou elemento territorial relacionada ao processo.

Deve-se alertar que essas estratégias fazem algumas pressuposições. Pressupõe-se, por exemplo, que a estrutura de relações ambientais é o resultado

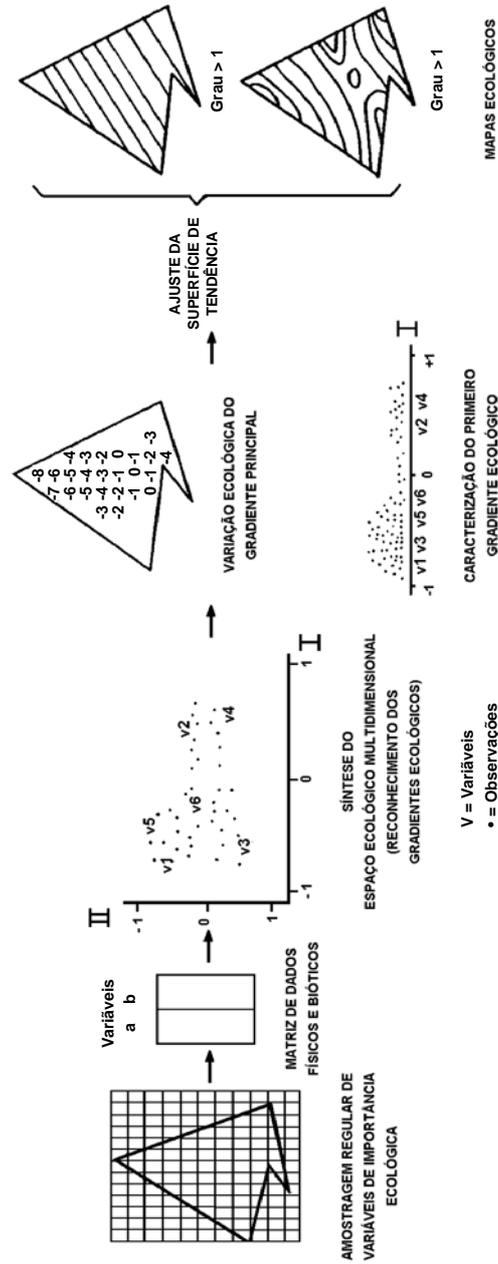


Fig. 5. Diagrama do procedimento para mapear a estrutura ecológica de uma região.
Fonte: Modificado de Agar et al. (1995).

das coincidências ou redundâncias espaciais das variáveis biofísicas e das interações entre esses elementos. Caso dois pontos (*pixels* no terreno) contenham os mesmos atributos ambientais, é acreditado que eles possuam o mesmo sistema de interações ecológicas. Carvalho et al. (2002), utilizando análise de correspondência simples e múltipla, analisaram mapas de produtividade de culturas agrícolas em diferentes épocas, conseguindo bons agrupamentos com essas medidas de associações.

A principal vantagem de se utilizar análise multivariada diz respeito às sucessivas aproximações que podem ser feitas sobre o território e as inter-relações espaciais entre elementos, que podem ser obtidas em cada caso. Sem o uso dessas técnicas, a possibilidade de incluir ou excluir novas variáveis é muito trabalhosa. As pesquisas feitas com essa abordagem apresentam a descrição integrada do território em diferentes escalas de detalhe, tratando de otimizar a análise da informação e sua expressão cartográfica, considerando a relação custo-eficiência da descrição como o estudo das interdependências espaciais entre diferentes fatores ambientais e seus condicionantes de uso antrópico. Uma outra vantagem é que a delimitação das zonas, bem como a associação entre as variáveis ambientais, pode ser baseada em critérios quantitativos, fornecidos por método estatístico. Salienta-se que, para tal abordagem, é necessária a existência de uma área delimitada fisicamente, contendo uma base temática de dados consistentes, um SIG e um software estatístico adequados, bem como a definição acertada dos métodos, para que sejam efetuadas as análises necessárias.

Conclui-se que a análise numérica e técnicas multivariadas aplicadas para zoneamento são vantajosas porque facilitam a compreensão de dados ambientais complexos. As técnicas multivariadas permitem a análise das estruturas ecológicas ou interações ambientais, bem como a inclusão ou a exclusão de novas variáveis, com facilidade. Permitem ainda que a delimitação das unidades e que as associações entre as variáveis ambientais sejam feitas com base em critérios estatísticos.

TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTIVARIADA EM ZONEAMENTO

Dentro da análise multivariada, pressupõe-se que a escolha ou adoção de uma técnica para identificar unidades em um determinado território deve,

pelo menos, identificar as estruturas naturais e resultantes da ação humana e trabalhar com os elementos componentes dessas estruturas a partir de um conjunto de dados multidimensionais. Para tanto, a técnica deve estar baseada na associação de matrizes, onde existem muitas variantes, cada qual conduzindo para diferentes resultados (amplos ou restritos) e, de forma comum, direcionando para medidas de semelhança.

Nesse sentido, de acordo com Legendre e Legendre (1998), há dois caminhos a serem seguidos – a “análise de agrupamento” (aglomerativo, divisivo ou particional) e a “ordenação” (componente principal ou análise de coordenada, escalonamento multidimensional não-métrico ou análise de correspondência), em que o primeiro permite formar grupos semelhantes com os dados multidimensionais e o segundo permite uma ordenação no espaço com a redução do número de dimensões.

Uma boa alternativa para zoneamento seria o uso integrado das técnicas de análise multivariada, do tipo análise de agrupamento e análise de correspondência, e ainda as regras de álgebra booleana implementadas em SIGs. Acredita-se que essa associação permite integrar melhor as informações ambientais, baseadas em critérios estatísticos.

A álgebra booleana é utilizada em análise espacial qualitativa e permite gerar um mapa (plano de informação (PI) ou *layer*) a partir de um ou de vários mapas, considerando um conjunto de condições dadas. Vários tipos de expressões estão envolvidas, tais como os operadores de comparação entre imagens, ou entre mapas temáticos, ou ainda os operadores lógicos de negação, complemento, união e intersecção.

A “análise de agrupamento” (*cluster analysis*), também conhecida como análise de segmentação ou análise de taxonomia, é um conjunto de técnicas para realizar tarefas de dividir um conjunto de dados (n observações com k variáveis) em subconjuntos relativamente homogêneos, baseado na distância ou similaridade entre os dados.

Um conjunto de dados com n observações com k variáveis pode, então, ser representado em forma de matriz, em que se objetiva encontrar m grupos quaisquer (onde $m \leq n$), de maneira que cada observação tenha a menor diferença possível das demais que pertençam ao mesmo grupo e a maior diferença possível das demais observações que pertençam a outros grupos, de

acordo com um certo critério, que pode ser a *distância ou similaridade* entre observações ou *distância ou similaridade* entre grupos. Porém, na natureza, existem diversos tipos de variáveis, cujo conceito de distância é distinto. Dessa forma, tem-se, então, as “variáveis nominais ou qualitativas”, também chamadas de binomiais ou binárias, quando se refere à presença (1) ou à ausência (0) de determinada característica, em que a diferença ou a ordem dos números não tem nenhum significado; as “variáveis ordinais ou semiquantitativas”, quando os dados são oriundos de variáveis quantitativas por meio de valores inteiros crescentes, como se fossem atribuídos pesos; as “variáveis métricas ou quantitativas” – podem ser discretas (contagem de indivíduos) ou contínuas (medidas de variáveis físicas), podendo ser inteiros ou reais; há também conjunto de dados com “variáveis mistas” – quando os dados coletados são heterogêneos (qualitativos, semiquantitativos ou quantitativos).

A comparação de objetos a partir dessas variáveis heterogêneas não pode ser realizada sem uma prévia homogeneização dos dados, que deve ser feita pela codificação binária dos dados, tal como nas variáveis qualitativas. No caso dos mapas de cada tema, cada classe é uma variável qualitativa (categórica) discreta.

A compreensão dos resultados na aplicação da análise de agrupamento depende muito do entendimento do conceito de distância (d), ou seja – para um dado conjunto A qualquer, a *distância* (d) é toda função $d: A \times A \rightarrow R$. As distâncias com variáveis métricas estão baseadas nas diferenças entre os valores que cada observação toma das distintas variáveis. Porém, não têm sentido para variáveis nominais (qualitativas) ou ordinais (semiquantitativas). Para essas variáveis, o importante é a coincidência ou discordância entre os estados das mesmas. Portanto, deve-se sempre levar em conta qual o tipo de variável está sendo coletada para avaliação. Na análise ambiental voltada aos zoneamentos, as variáveis (classes de mapeamento) usualmente utilizadas são qualitativas (binomiais ou categóricas). Nesse sentido, na definição das distâncias a partir das coincidências, supõe-se que a matriz X esteja formada exclusivamente por variáveis binárias, ou seja, 0 e 1 como valores. Tomem-se duas linhas de observações dessa matriz, onde cada coordenada só pode ter valor 0 ou 1.

Levando em consideração as coincidências e as discordâncias entre elas, podem-se definir os índices a , b , c , d , identificados a seguir:

	Observação <i>i</i>		
		1	0
Observação <i>j</i>	1	a	c
	0	b	d

A partir desses índices, podem ser construídos vários coeficientes de similaridade. Uma vez que a estrutura ambiental é dada pelas coincidências das informações temáticas numa mesma zona, pode-se utilizar o *coeficiente de Jaccard*, ou seja, $S_{jac} = a/(a+b+c)$, proporção das concordâncias positivas, excluindo as concordâncias negativas (ambas com valor 0). Esse coeficiente é métrico e varia entre 0 e 1, e a função $d = 1 - S_{jac}$ é uma distância. Além do coeficiente de Jaccard, um coeficiente de similaridade que parece ser mais robusto para ser aplicado a dados qualitativos ambientais é o *coeficiente de correspondência*, obtido pela distância Qui-Quadrado (c^2), que é uma distância euclidiana ponderada utilizada pela análise de correspondência.

As medidas de semelhanças ou *coeficientes de similaridades (S)* são grandezas numéricas que quantificam o grau de associação entre um par de objetos ou de descritores. Os coeficientes de similaridade (S) foram desenvolvidos inicialmente para medidas binárias (presença-ausência), em que geralmente o 1=presença e o 0=ausência. Os valores desses coeficientes geralmente variam, também, entre 0-1, onde zero indica similaridade mínima e 1 a similaridade máxima. Em resumo, quanto mais próximas forem as categorias ambientais avaliadas, menor será a distância (d) entre as observações e maior será a similaridade entre elas. Pode-se escrever, ainda, que $S_{jac} = 1-d$. Logo, definindo-se a distância (d), implicitamente, definir-se-á o coeficiente de similaridade e vice-versa.

Para variáveis que podem tomar mais de dois estados, não necessariamente os mesmos de cada variável, as observações tenderiam à forma de um vetor: $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik})$, onde: $1 \leq x_{i\ell} \leq x_{j\ell}$ ($\ell = 1, \dots, k$), sendo j_ℓ o número de estados da variável ℓ . Por exemplo, sejam três variáveis nominais em um mapa temático – Geologia (g), Geomorfologia (gm) e Uso da Terra (u), com 3, 4 e 3 classes, respectivamente, e um pixel com as classes g2, gm3 e u1. Tem-se, então: $x = (g2, gm3, u1)$, em que $j_1=3, j_2=4$ e $j_3=3$. Portanto, convertendo o vetor x a um vetor x^* binário de dimensão 10 ($\sum j_\ell$), obtém-se:

	Geologia			Geomorfologia				Uso		
	g1	g2	g3	gm1	gm2	gm3	gm4	u1	u2	u3
$X^* =$	(0	1	0	0	0	1	0	1	0	0)
	j1			j2				j3		

Em seguida, deve-se calcular a distância ou a similaridade entre esses vetores. Entretanto, o cálculo da distância depende do método de agrupamento escolhido. Há vários métodos propostos, que dependem de critérios baseados no menor grau de distorção e na sua capacidade de evidenciar melhor a estrutura dos dados, isto é, a existência de grupos. No caso da análise dos dados multidimensionais referentes às componentes e fatores ambientais encontrados na natureza, o *método hierárquico ascendente ou aglomerativo* parece ser o mais indicado. Esse método parte do conjunto de todos os elementos separados e, a cada etapa, reúne os dois subconjuntos “mais próximos”, para construir um novo subconjunto, até a obtenção do conjunto total dos indivíduos.

Entre os métodos hierárquicos, acredita-se que o *método da variância mínima de Ward* – o qual pressupõe que um grupo será reunido a um outro se essa reunião proporcionar o menor aumento de variância intragrupo –, é o mais indicado. Essa variância será calculada para todas as alternativas de aglomeração, escolhendo a que proporciona a menor variância. O mesmo procedimento é aplicado a todos os passos da análise. Esse método é altamente eficiente na formação de grupos, pois está fundamentado na noção de variância intragrupo e variância intergrupo.

A *análise de correspondência* é uma outra técnica que pode ser aplicada para zoneamentos. Ela estuda as relações de dependência entre as variáveis qualitativas, apresentadas na forma de tabelas de contingência. Além de analisar essas relações existentes entre as variáveis, permite avaliar como está estruturada essa associação, descrevendo proximidades que permitem identificar “variáveis causas da associação”. É uma redução de dimensão para tabelas de contingência, onde as variáveis similares aparecem mais próximas entre si que as variáveis diferentes. A *análise de correspondência múltipla* é uma generalização da análise de correspondência simples para mais de duas variáveis qualitativas (ou categóricas), valendo a mesma base teórica para ambas.

Para se aplicar a análise de correspondência múltipla em zoneamentos, deve-se considerar que:

- Existe um conjunto \mathbf{I} (de cardinal igual a \mathbf{N}) de indivíduos com as observações (variáveis) de \mathbf{Q} caracteres qualitativos ($\mathbf{C}_1, \dots, \mathbf{C}_Q$).
- Supõe-se que, para cada indivíduo $\mathbf{i} \in \mathbf{I}$, têm-se as respostas dadas por esse indivíduo a um conjunto de \mathbf{Q} questões $\mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_Q$. Cada pergunta \mathbf{Q} possui \mathbf{J}_q modalidades mutuamente exclusivas e, para cada pergunta, o indivíduo \mathbf{i} escolheu uma e uma só das modalidades possíveis (perguntas postas sob forma disjuntiva completa). Para cada pergunta, eliminam-se as modalidades que não foram escolhidas por nenhum indivíduo.
- Considerando-se a pergunta \mathbf{q} , pode-se apresentar o conjunto das respostas dadas pelos indivíduos $\mathbf{i} \in \mathbf{I}$ a essa pergunta de duas formas: 1) por um vetor coluna de \mathbf{N} linhas, onde o elemento \mathbf{r}_i^q da $\mathbf{i}^{\text{ésima}}$ linha é um inteiro pertencente a $\{1, \dots, \mathbf{J}_q\}$ correspondente à modalidade escolhida; 2) por uma matriz \mathbf{Z}_q de \mathbf{N} linhas e \mathbf{J}_q colunas cujo elemento da $\mathbf{i}^{\text{ésima}}$ linha ($\mathbf{i} \in \mathbf{I}$) e da $\mathbf{j}^{\text{ésima}}$ coluna ($\mathbf{j} \in \{1, \dots, \mathbf{J}_q\}$) é igual a 1 se \mathbf{i} escolheu a modalidade \mathbf{j} da questão \mathbf{q} , e igual a 0 (zero) se não.

Associada à matriz \mathbf{Z} , cria-se a matriz simétrica $\mathbf{B} = \mathbf{Z}^T \mathbf{Z}$, chamada tabela de Burt, formada por todos os pares de tabulações cruzadas entre as \mathbf{Q} variáveis (geologia, geomorfologia e uso, etc.), em frequência absoluta. Essa é uma tabela de contingência que coloca em evidência a relação de cada variável, ou suas classes, com as demais. Essa tabela é uma matriz simétrica, interessando somente o triângulo inferior, com os valores da diagonal principal correspondendo às frequências observadas para cada classe.

Partindo das respostas das perguntas dadas por esse conjunto \mathbf{I} de parcelas amostrais, a descrição das associações entre as classes pode efetuar-se por meio de uma análise de correspondências efetuada nessa tabela. Na análise, procura-se estabelecer relações de atração entre as variáveis ou classes, permitindo uma representação simplificada das múltiplas relações simultâneas existentes entre elas. Softwares estatísticos como o SAS e o SPAD-N podem criar ou ler uma tabela de contingência para efetuar as estatísticas da análise, tais como valores próprios, inércia, qui-quadrado e percentagem de contribuição de cada fator decomposto. Além disso, pode ser criado um gráfico que permite

reduzir o conjunto de informações utilizadas em um espaço n-Euclidiano para uma representação em um plano formado por dois fatores, representando as linhas da tabela por pontos no espaço, de modo que a distância Euclidiana na figura seja igual à distância qui-quadrado calculada entre as linhas da tabela. Esse plano é dividido em quatro quadrantes, cuja interpretação de associação pode ser baseada nos pontos (variáveis ou classes) distribuídos aproximadamente na mesma região do espaço. Porém, deve-se ressaltar que a distância entre os pontos não tem uma interpretação direta nesse tipo de análise (Fig. 6).

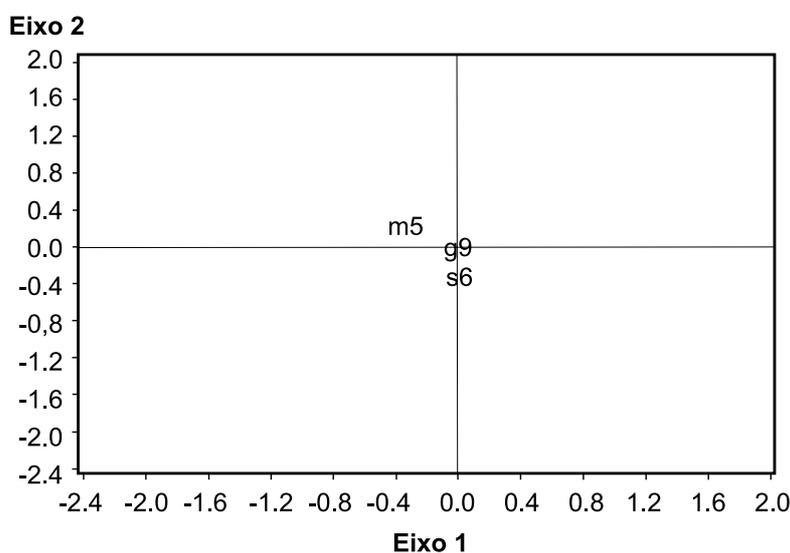


Fig. 6. Exemplo de gráfico de análise de correspondência.

Para zoneamentos ambientais, recomenda-se o uso integrado das técnicas de análise multivariada (análise de agrupamento e de correspondência) e regras de álgebra booleana implementadas em SIG. A análise de agrupamento deve permitir a formação de zonas similares com os dados multidimensionais, e a análise de correspondência deve apontar as relações entre as variáveis discretas. Essas técnicas utilizam distância euclidiana, que permite identificar a similaridade entre as unidades ambientais, e hierarquizam as informações ambientais dentro de cada zona.

SIG, ANÁLISE MULTIVARIADA E ZONEAMENTO AMBIENTAL

Qualquer mapa temático pode ser construído em um SIG na forma de vetor ou na forma matricial. Os mapas vetoriais são construídos na forma poligonal, por linhas (arcos), pontos e nós no espaço XYZ, onde X e Y seriam as coordenadas cartesianas e Z seria o atributo da imagem, que pode ser o código de uma classe temática. Análogo a isso seria a estrutura de um mapa no formato matricial, porém os polígonos devem ser transformados em células (pixels) com uma determinada resolução espacial em função da escala dos mapas, dependendo da necessidade de representação exigida pela análise, constituindo-se, assim, numa matriz de dados. Por exemplo, tendo uma área com 25 km² e desejando escrevê-la no formato matricial com resolução de 100 x 100 m (0,01 km²), essa matriz teria 2.500 pixels. Considerando que a área analisada seja um quadrado com 5 km de lado, a matriz conteria, então, 50 linhas por 50 colunas.

De maneira geral, para se aplicar análise multivariada a partir de informações georreferenciadas, é necessário que os dados estejam numa estrutura de matriz binária, de forma que os agrupamentos possam ser compostos. Considerando que a área da matriz suposta anteriormente tenha os mapas de geologia com classes g1 a g3, solos com classes s1 a s5 e vegetação com classes v1 a v6, é possível escrever uma matriz com as coordenadas (x,y) de cada observação e com tantas colunas quanto o número de classes temáticas, que, neste caso, seriam 14, sendo a matriz preenchida de forma binária com dados de presença ou ausência (0,1), conforme mostra o exemplo genérico a seguir. É essa matriz a estrutura básica para ser utilizada num programa de análise multivariada.

Coordenadas		Geologia			Solos					Vegetação					
Linha X	Coluna Y	g1	g2	g3	s1	s2	s3	s4	s5	v1	v2	v3	v4	v5	v6
1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
...
50	50	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Verifica-se que as linhas da matriz desse exemplo são as observações em cada célula (pixel), ou seja, o que efetivamente foi observado no terreno. O agrupamento (*cluster*) é efetuado com essa matriz de dados, e como ele é hierárquico basta selecionar um nível de corte que leve em conta uma informação suficiente sem obter um excessivo número de classes. Porém, a quantidade de agrupamentos selecionados depende da heterogeneidade dos mapas iniciais. O ponto de recorte dos agrupamentos, como já citado, é indicado pelas distâncias que separam os diferentes grupos, por meio do coeficiente de similaridade, ou num dendograma de saída fornecido pelo software utilizado. Em suma, para se aplicar análise multivariada a partir de um banco de dados gerados em um SIG, é necessário considerar que os seguintes passos deverão ser executados:

- Armazenar todos os mapas temáticos no SIG.
- Converter cada mapa para o formato matricial.
- Converter cada mapa matricial numa grade regular que, por sua vez, se apresenta como uma matriz binária (0, 1).
- Importar a matriz binária para o software estatístico.
- Efetuar as análises, decidir sobre o número de grupos a serem separados e preparar o arquivo (matriz) com as observações de cada grupo.
- Organizar a matriz de saída utilizando uma planilha ou editor de texto, de forma que contenha as coordenadas X,Y de cada observação e o código (classe) do grupo a que ela pertence.
- Converter a matriz resultante em uma grade regular e convertê-la em um mapa temático matricial. Esse mapa resultante seria o mapa de unidades de zoneamento. Caso seja de interesse do planejador, esse mapa poderá ser transformado dentro do SIG em vetores, facilitando algumas representações.

Mais detalhes sobre *análise de agrupamento* podem ser encontrados nos livros textos de Johnston (1989) e Everitt (1995), sobre *análise de correspondência* em Greenacre (1984) e Benzécri (1992), e detalhes sobre ambas as técnicas nos livros textos de Santos e Luque (1996), Legendre e Legendre (1998) e Pereira (2001). Procedimentos de análise, em ambas as técnicas, utilizando software podem ser vistos em SAS (1999).

Em síntese, para zoneamento ambiental baseado no uso de análise multivariada e de SIGs, a análise multivariada deve utilizar a construção de matrizes binárias e envolver, obrigatoriamente, conversões de dados em diferentes formatos. Deve-se atentar para o fato de que a decisão sobre o nível de corte que define os agrupamentos entre os dados na análise multivariada determinará o número de unidades ambientais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reconhece-se neste estudo que o mapa de unidades de zoneamento pode ser obtido dentro de uma concepção estatística, mas ressalva-se que deverá ser analisada a coerência dos agrupamentos com as informações de campo, pois alguns autores relatam situações em que não se pôde aceitar os agrupamentos predefinidos. Em outras palavras, o método em si mesmo é eficiente, mas a eficiência e eficácia dos resultados dependem de muitos outros fatores, como a qualidade dos dados, a estruturação em que os dados foram organizados em um banco de SIG ou a seleção do número de classes e corte estipulados pelo pesquisador. A vantagem dessa proposta de análise é que o especialista pode refazer todo o procedimento de análise de maneira rápida e a baixo custo, testando vários pontos de recorte e alterando, por exemplo, o número de PIs e classes a serem utilizados na análise. Tanto quanto o método usual da sobreposição, o mapa resultante só poderá ser aceito se passar por esse crivo de qualidade e se suas unidades de zoneamento forem devidamente caracterizadas em função das informações utilizadas. Só a partir dessa avaliação, que depende da experiência do planejador tanto sob o ponto de vista do conhecimento acadêmico sobre as temáticas envolvidas no zoneamento quanto sobre o método adotado, é que se poderá tomar a decisão gerencial para cada unidade referenciada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) (Processo n° 2001/10555-2).

REFERÊNCIAS

- AGAR, P. M. de; PABLO, C. L. de; PINEDA, F. D. Mapping the ecological structure of a territory: a case study in Madrid (Central Spain). **Environmental Management**, New York, v. 19, n. 3, p. 345-357, May/Jun. 1995.
- AGUIAR, E. A. de. **Planejamento ambiental como instrumento à prevenção de doenças infecto-contagiosas e parasitárias: estudo de caso: Paulínia**. 1995. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- BAKKES, J. A.; BORN, G. J. VAN DER; HELDER, J. C.; STWART, R. J.; HOPE, C. W.; PARKER, J. D. E. **An overview of environmental indicators: state of the art and perspectives**. Nairobi: United Nations Environment Programme/RIUM, 1994. p. 94-101 (Environmental Assessment Technical Reports, 402001001).
- BALLESTER, M. R. V.; SANTOS, J. E.; FERESIN, E. G.; OBARA, A. A.; KRUSCHE, A. V.; BARROSO, G. F.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; PIRES, J. S. R.; MOZETO, A. A.; CAVALHEIRO, F.; MARGARIDO, L. A. C.; GENTIL, J. G. Desenvolvimento planejado (utilização do solo) da Estação Ecológica de Jataí. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). **Oecologia brasiliensis**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1995. v.1, p. 511-522.
- BECERRA, J. A. B. **Zoneamento ecológico visando pastejo de comunidades vegetais das montanhas andinas, do Parque Nacional Del Manu, Peru**. 1999. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, DF.
- BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1997. 43 p.
- BENZÉCRI, J. P. **Correspondence analysis handbook**. New York: Marcel Decker, 1992. 665 p. (Statistics: Textbooks and Monographs).
- BOJÓRQUEZ-TAPIA, L. A.; ONGAY-DELHUMEAU, E.; EZCURRA, E. Multivariate approach for suitability assessment and environmental conflict resolution. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 41, p. 187-198, 1994.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Proposta metodológica para estudos integrados do potencial geoambiental em escalas de semidetalhe**. Brasília, 1984. 16 p. Projeto Radambrasil - Grupo de Estudos Integrados, coordenado por Teresa Cardoso da Silva.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável. **Programa zoneamento ecológico-econômico: diretrizes metodológicas para o zoneamento ecológico-econômico do Brasil**. Brasília, 2001. 110 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Programa Nacional do Meio Ambiente. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai PCBAP: análise integrada e prognóstico da bacia do Alto Paraguai: Subcomponente Pantanal**. Brasília, 1997a. v. 1, 76 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Programa Nacional do Meio Ambiente. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai PCBAP: metodologia do Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai: Subcomponente Pantanal**. Brasília, 1997b. v.3, 370 p.

BRUNINI, O.; ZULLO JÚNIOR, J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, A. P.; PATTERNIANI, M. E. Z. Riscos climáticos para a cultura de milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 519-526, 2001. Número especial.

CADAVID GARCÍA, E. A. **Zoneamento agroecológico e sócio-econômico da bacia hidrográfica brasileira do Rio Paraguai: uma abordagem numérica preliminar**. Corumbá: Embrapa-CPAP, 1991. 65 p. (Documento para discussão).

CALVO, J. F.; PALAZÓN, J. A.; ESTEVE, M. A.; SUÁREZ, M. L.; TORRES, A.; VIDAL-ABARCA, M. R.; RAMÍREZ-DIAS, L. The use of multivariate analysis for the ecological characterization of landscape: the Mula River watershed, South-East Spain. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 34, p. 297-308, 1992.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M. de; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, Amsterdam, v. 15, n. 6, p. 13-22, May/Jul. 1996.

CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; MORAN, R. C. de C. P. Análise de correspondência: uma ferramenta útil na interpretação de mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 435-443, abr./jun. 2002.

CHAGAS, C. da S.; CARVALHO JÚNIOR, W. de; PEREIRA, N. R.; BHERING, S. B.; STEINMETZ, S. Um método para elaboração de zoneamentos agropedoclimáticos: estudo de caso do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 571-580, 2001. Número especial.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 415-440.

COULSON, R. N.; NOVELADY, C. L.; FLAMM, R. O.; SPRADING, S. L.; SAUNDERS, M. C. Intelligent geographic information systems for natural resource management. In: TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. (Ed.). **Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity**. New York: Springer-Verlag. 1991. p. 153-171.

PABLO, C. L. DE; AGAR, P. M. de; BARTUREN, R.; NICOLAS, J. P.; PINEDA, F. D. Design of a information system for environmental planning and management (SIPA). **Journal of Environmental Management**, New York, v. 40, p. 231-243, 1994.

PABLO, C. L. DE; GOMEZ SAL, A.; PINEDA, F. D. Élaboration automatique d'une cartographie écologique et son évaluation avec des paramètres de la théorie de l'information. **L'Espace Géographique**, Paris, n. 2, p. 115-128, 1987.

PABLO, C. L. DE; PINEDA, F. D. Análisis multivariante del territorio para su cartografía ecológica: ensayo preliminar en la provincia de Madrid. **Anales de Geografía de la Universidad Complutense**, Madri, n. 5, p. 236-260, 1985.

PABLO, C. T. L. DE. Cartografía ecológica: conceptos e procedimientos para la representación espacial de ecosistemas. **Boletín da Real Sociedad Española de la Historia Natural Sección Geológica**, Madri, v. 96, n. 1/2, p. 57-68, 2000.

PABLO, C. T. L. DE.; AGAR VALVERDE, P. M. DE. Bases teóricas de la cartografía ecológica. **Quercus**, Madri, p. 32-35, jun. 1993.

EVERITT, B. S. **Cluster analysis**. 3rd. ed. London: Arnold, 1995. 170 p.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R. de; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001. Número especial.

FIDALGO, E. C. C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnósticos de planejamentos ambientais**. 2003. 249 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

FONTES, A. T. **Aspectos do macrozoneamento utilizando SIG enquanto instrumento de gestão ambiental: diagnósticos e cenários regionais no estudo de caso da região de Ribeirão Preto**. 1997. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Hidráulica, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: J. Wiley, 1986. 620 p.

GALLOPIN, G. C. Una metodología multivariable para la regionalización ambiental – I: bases metodológicas. **Ecología Argentina**, Buenos Aires, n. 7, p. 161-176, sept. 1982.

GREENACRE, M. J. **Theory and applications of correspondence analysis**. London: Academic Press, 1984. 364 p.

GRIFFITH, C. Zoneamento: uma análise crítica. **Ambiente**, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 20-25, 1989.

GRIFFITH, J. J.; JUCKSCH, I.; DIAS, L. E. **Roteiro metodológico para zoneamento de áreas de proteção ambiental**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Ibama, 1995. 37 p. Projeto BRA/90/010.

JOHNSTON, R. J. **Multivariate statistical analysis in geography: a primer on the general linear model**. 4 ed. New York: Longman, 1989. 280 p.

KURKDJIAN, M. de L. N. de O.; VALÉRIO FILHO, M.; VENEZIANI, P.; PEREIRA, M. N.; FLORENZANO, T. G.; ANJOS, C. E. dos; OHARA, T.; DONZELI, P. L.; ABDON, M. de M.; SAUSEN, T. M.; PINTO, S. dos A. F.;

Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas

BERTOLDO, M. A.; BLANCO, J. G.; CZORDAS, S. M. **Macrozoneamento da região do Vale do Paraíba e litoral norte do Estado de São Paulo**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992. 176 p. INPE-5381-PRP/165.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: Ibama, 1995. 171 p. (Coleção Meio Ambiente).

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology**. 2nd. ed. Amsterdam: Elsevier Science, 1998. 853 p. (Developments in Environmental Modeling, 20).

LUZ, B. R. da. **Zoneamento ecológico do Parque das Furnas do Bom Jesus, em Pedregulho --SP, usando sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica (SIG)**. 2000. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MAGNUSSON, W. E. Estatística, delineamento e projetos integrados: a falta de coerência no ensino e na prática. **Brazilian Journal of Ecology**, Rio Claro, v. 3, n. 1, p. 37-40, 1999.

MALUF, J. R. T.; CUNHA, G. R. da; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; CAIAFFO, M. R. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 468-476, 2001. Número especial.

MANUAL de avaliação de impactos ambientais. 3 ed. Curitiba: Secretaria do Meio Ambiente; Instituto Ambiental do Paraná, 1999. Suplemento 3.

MATO GROSSO DO SUL. **Atlas multirreferencial**. Campo Grande: Secretaria de Planejamento, 1990. 28 p.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento. **Macrozoneamento geoambiental do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, 1989. 242 p.

MEDEIROS, J. S. de. **Banco de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território**. 1999. 236 f.. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, Rio Claro, v.1, n.1/2, p. 1-9, dez. 2001. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br>>. Acesso em: 08 mar. 2003.

MOLDES TEO, F. J. **Tecnología de los sistemas de información geográfica**.
Madri: Ra-ma, 1995. 190 p.

MORAIN, S. (Ed.). **GIS solutions in natural resource management: balancing the Technical-Political Equation**. Santa Fé: OnWord Press, 1999. 364 p.

MOREIRA, H. L. (Coord.). **Zoneamento geoambiental e agroecológico do Estado de Goiás: região nordeste**. Rio de Janeiro: IBGE-Divisão de Geociências do Centro-Oeste, 1995. 178 p. (Estudos e Pesquisa em Geociências, 3).

NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A. S. **Landscape Ecology: theory and application**.
2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1994. 360 p.

PEDREIRA, B. da C. C. G. **Planejamentos ambientais e apropriação de escalas para mapeamentos de cobertura vegetal**. 1998. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais**. 3. ed. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 2001. 157 p.

PIVELLO, V. R.; BITENCOURT, M. D.; MANTOVANI, W.; MESQUITA JÚNIOR, H. N. De; BATALHA, M. A.; SHIDA, C. N. Proposta de zoneamento ecológico para a reserva de cerrado Pé-de-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro, SP). **Brazilian Journal of Ecology**, Rio Claro, v. 2, n. 2, p. 108-118, 1998.

RANIERI, V. E. L. **Discussão das potencialidades e restrições do meio como subsídio para o zoneamento ambiental: o caso do município de Descalvado (SP)**. 2000. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Hidráulica, Universidade de São Paulo, São Carlos.

RIPPLE, W. J. (Ed.). **The GIS applications book: examples in natural resources: a compendium**. Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1994. 380 p.

RODRIGUEZ-BACHILLER, A. Geographical information systems and expert systems for impact assessment: part I: GIS. **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, Oxford, UK, v. 2, n. 3, p. 369-414, Sept. 2000a .

Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas

RODRIGUEZ-BACHILLER, A. Geographical information systems and expert systems for impact assessment: part II: expert systems and decision support systems. **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, Oxford, UK, v. 2, n. 3, p. 415-448, Sept. 2000b.

ROSSETI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e seguridade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 386-399, 2001. Número especial.

SÁNCHEZ, R. O. **Bases para o ordenamento ecológico-paisagístico do meio rural e florestal**: zoneamento agroecológico. Cuiabá: Fundação de Pesquisas Cândido Rondon, 1991. 150 p.

SÁNCHEZ, R. O.; SILVA, T. C. da. Zoneamento ambiental: uma estratégia de ordenamento da paisagem. **Cadernos de Geociências**, Rio de Janeiro, n. 14, p. 47-53, abr./jun. 1995.

SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; GUIMARÃES, D. P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro Oeste do Brasil e para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 527-535, 2001. Número especial.

SANTOS, J. E. dos; MOZETO, A. A. **Programa de análise de ecossistemas e monitoramento ambiental**: Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antônio, SP): ecologia de áreas alagáveis da planície do rio Mogi Guaçu. São Carlos: Editora da Universidade de São Carlos, 1992. 59 p. Projeto Jataí.

SANTOS, R. F. dos; CARVALHAIS, H. B.; PIRES, F. Planejamento Ambiental e Sistemas de Informações Geográficas. **Caderno de Informações Georreferenciadas – CIG**, Campinas, v. 1, n. 2, artigo 2, 1997. Disponível em: <<http://orion.cpa.unicamp.br/revista/cigv1n2a2.html>>. Acesso em: 12 maio 2001.

SANTOS, V. A.; LUQUE, A. P. de V. **Métodos multivariantes en bioestadística**. Madri: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, 1996. 452 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Macrozoneamento do litoral norte**: plano de gerenciamento costeiro. São Paulo, 1996a. 202 p. (Série Documentos).

SÃO PAULO. Secretaria do Estado de Meio Ambiente. Coordenadoria do Planejamento Ambiental. **Proposta de macrozoneamento do Vale do Ribeira:** relatório final. São Paulo, 1996b. 86 p.

SAS Institute (Cary, Estados Unidos). **SAS/STAT:** user's guide, version 8. Cary, NC, 1999. Cap. 23 e 24.

SEIFFER, N. F. O desafio da pesquisa ambiental, **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 5, n. 3, p. 103-122, set./dez. 1998.

SILVA, A. de B. **Sistemas de informações geo-referenciadas:** conceitos e fundamentos. Campinas: Unicamp, 1999. 236 p. (Coleção Livro-Texto).

SILVA, J. dos S. V. da (Org.). **Zoneamento ambiental da borda oeste do Pantanal:** Maciço do Urucum e adjacências. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 211 p.

SILVA, S. C. da, ASSAD, E. D. Zoneamento de riscos climáticos para o arroz de sequeiro nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p. 536-543, 2001. Número especial

SIMÕES-MEIRELLES, M. P. **Análise integrada do ambiente através de geoprocessamento:** uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos. 1997. 174 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SKOPEK, V.; VACHAL, J.; STERBACEK, Z. A Method of approach to landscape stability - Part 1: fundamentals and methodology. **Environmental Management**, New York, v.15, n. 2, p. 205-214, 1991.

SOUZA, W. de. **Planejamento da rede viária e zoneamento em unidades de conservação, empregando um sistema de informações geográficas.** 1990. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

TEIXEIRA, O. Agricultura, meio ambiente e pesquisa interdisciplinar: alguns elementos para o debate. **Agricultura Sustentável**, Jaguariúna, v. 2, n. 1, p. 31-37, 1995.

URBAN, D. L.; O'NEILL, R. V.; SHUGART JÚNIOR., H. H. Landscape ecology. **BioScience**, v. 37, Washington, DC, n. 2, p. 119-127, Feb. 1987.

Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas

WESTMAN, W. E. **Ecology: impact assessment, and environmental planning**. New York: J. Wiley, 1985. p. 1-26.

ZANONI, M.; RAYNAUT, C.. Meio Ambiente e desenvolvimento: imperativos para a pesquisa e a formação?: reflexões em torno do doutorado da UFPR. **Cadernos de Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n. 1, p. 143-166, 1994.

ZONNEVELD, I. S. The land unit: a fundamental concept in landscape ecology, and its applications. **Landscape Ecology**, The Hague, v. 3, n. 2, p. 67-86, 1989.