

1. CONCEITOS BÁSICOS

A eficiente construção de sistemas de informação depende da criação de modelos conceituais que sejam representativos da porção modelada da realidade. Se este problema é projetado para a pesquisa ambiental, é considerável o acréscimo da complexidade nele envolvida. Torna-se necessário considerar o ambiente como um sistema, isto é, uma entidade que tem expressão espacial, a ser modelada segundo sua variabilidade taxonômica e a distribuição territorial das classes de fenômenos nela identificados como relevantes. Ainda mais, deve ser levada em conta a dinâmica daqueles sistemas ambientais, dinâmica esta a ser retratada segundo uma sucessão de instâncias escolhida para representar a evolução (alteração) do ambiente em uma determinada faixa de tempo. É claro que estes sistemas não são de fácil modelagem, requerendo sua execução forte capacidade analítica e sólidos conhecimentos ambientais dos executores. As etapas desta modelagem se superpõem, em certa medida, e em todas elas deve o pesquisador estar alerta quanto a possíveis ampliações dos modelos. A aceitação de expansões se dá, muitas vezes, pela tentativa de considerar múltiplos e excessivos aspectos da realidade ambiental. Tratamentos numéricos complexos e diversificados tendem a trazer uma aparência de sofisticação que é atraente. É preciso lembrar, no entanto, que a modelagem ambiental é, por si mesma, complexa. É praticamente impossível lançar luz, ao mesmo tempo e com a mesma intensidade, sobre todos os aspectos da realidade ambiental. Os modelos ambientais representam sínteses, que se resolvem segundo a expressão espacial das entidades envolvidas, ou seja, sua distribuição territorial. Como sínteses, constituem-se em uma visão de conjunto, altamente elucidativa do jogo integrado dos fatores físicos, bióticos e sócio-econômicos responsáveis pela realidade ambiental. Não podem, ao mesmo tempo, conter todos os aspectos desta realidade.

Por permitirem representar a territorialidade e a inspeção de possíveis relacionamentos entre as entidades ambientais envolvidas, muitas representações digitais do ambiente são extremamente úteis. São exemplos os cartogramas digitais oriundos da cartografia automatizada, os mapeamentos temáticos gerados a partir de dados tele-detectados e os bancos de dados portadores de campos que indicam a localização das entidades neles arroladas. Estas representações podem ser integradas em uma estrutura mais ampla que as contenha e permita a investigação exhaustiva de relações entre as entidades representadas. Esta montagem, que deve se paulatina e ordenada, pode ser desdobrada em dois passos, sendo o passo inicial a construção de modelos conceituais que representem facetas da realidade ambiental. Estes modelos conceituais devem possuir alto potencial de apoio às diagnoses de situações ambientais. Devem ser construídos para facilitar a transição para o passo seguinte, que é a modelagem digital final, a qual permitirá o tratamento dos dados por geoprocessamento e representa uma visão integrada da realidade ambiental. Em consequência, os modelos conceituais devem ser criados: a) sem perda de poder diagnóstico causada por simplificações excessivas; b) sem que neles permaneçam representadas complexidades ambientais impeditivas da modelagem digital posterior.

Conforme enunciado acima, ambientes podem ser considerados sistemas, e o conhecimento a eles relativo pode ser armazenado em sistemas de informação. Entre os diferentes tipos de sistemas de informação, os Sistemas Geográficos de Informação, isto é,

aqueles sistemas que mostram e analisam a territorialidade dos fenômenos neles representados, são de uso crescente para a representação de ambientes. Este uso crescente se deve, exatamente, à capacidade que possuem de considerar, de forma integrada, a variabilidade taxonômica, a expressão territorial e as alterações temporais verificáveis em uma base de dados georreferenciada.

No presente capítulo e no seguinte são utilizados termos correntes do idioma (ambiente, situação ambiental, sistema, modelos, entre outros menos comuns, como geoprocessamento). Para estes termos serem corretamente entendidos, a eles devem ser atribuídos significados precisos. Devem ser apresentadas e discutidas acepções em uso na pesquisa ambiental e indicada sua utilização harmoniosa, integrada quanto aos seus relacionamentos mútuos e integradora quanto à transmissão do conhecimento ao leitor. Balizando o caminho desta aprendizagem, serão representados em **negrito** e *itálico* os termos que são definidos no texto, sendo apresentados apenas em *itálico* os termos importantes para o contexto em que ocorram.

Se o *geoprocessamento* é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de *dados* (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para os transformar em *informação* (que é um acréscimo de conhecimento) relevante, deve necessariamente apoiar-se em estruturas de percepção ambiental que proporcionem o máximo de eficiência nesta transformação. Uma destas estruturas é a *visão sistêmica*, na qual a realidade é percebida como composta por entidades físicas ou virtuais, os sistemas identificáveis, que se organizam segundo diversos tipos de relacionamentos, entre os quais ressaltam, para as investigações ambientais, as relações de inserção (hierarquias), justaposição (proximidade/contigüidade) e funcionalidade (causalidade). Segundo esta perspectiva, a realidade ambiental pode ser, portanto, percebida como um agregado de sistemas relacionados entre si.

Torna-se necessário, nesta exposição, apresentar um conjunto de conceitos destinado a tornar operacional esta perspectiva teórica. Este balizamento conceitual destina-se a propiciar, ao pesquisador ambientalista, a incorporação desta visão poderosa, e não deve ser confundido com a simples apresentação de um vocabulário. O pensamento e a reflexão, imprescindíveis à assimilação de conceitos, não devem ser substituídos pela capacidade de enumerar vocábulos sonoros em demonstrações garbosas, por vezes irresponsáveis, de uma pretensa erudição. A diluição de significados, a perda de substância de termos úteis para a pesquisa ambiental, é um resultado perverso derivado desta utilização corruptora da terminologia científica.

Foi apresentado acima um primeiro conceito de sistema como um componente perceptível da realidade ambiental. Como uma primeira aproximação esta definição pode ser válida. Porém, por basear-se apenas em uma relação de inserção, peca por não estabelecer uma caracterização direta. Não há, nesta definição, o claro estabelecimento da constituição do elemento definido. Este é um erro muito comum em definições ambientais. Procurando caracterizar as importantes relações que permeiam os fenômenos ambientais, algumas destas definições não identificam suas categorias intrínsecas, atendo-se à apresentação de suas relações relevantes. Pode acontecer, também, que definições pouco cuidadosas cometam outros tipos de erros, como conceituar um atributo de um sistema

(vulnerabilidade, por exemplo) como um processo, que é uma seqüência de eventos. Para minimizar a possibilidade destes erros é necessário discutir o significado e a prática do ato de definir.

Definir pode ser entendido como identificar a extensão de ocorrência de algum fenômeno, originando-se do latim *finis*, que gerou fim, finalidade, significando término, em português. Conduzindo estas acepções para o contexto da presente discussão, é razoável afirmar-se que *definir* signifique apresentar os limites da validade de aplicação de um conceito. Estes limites devem ser, o mais possível, exatos. Isto significa que, em princípio, não devem ser cometidos *erros de inclusão ou exclusão*. Em outros termos, exige-se que todos os fenômenos que pertençam à categoria definida estejam contemplados pela definição, que não deve incluir elemento algum que a ela não pertença. A verificação da validade de qualquer definição pode, em consequência, ser diretamente executada pela inspeção da eventual presença de erros de inclusão ou exclusão. Esta exegese pode ser feita sem maiores cerimônias, a qualquer momento, por um pesquisador, mesmo principiante, que perceba uma suposta inadequação em um conceito apresentado no seu campo de pesquisa. Ele estará verificando se a definição apresenta a desejada e dificilmente obtida duplicidade de atributos opostos: concisão e abrangência. Todo conceito deve ser, ao mesmo tempo, suficientemente conciso, para não conter inclusões indevidas, e suficientemente abrangente, para que erros de exclusão não sejam cometidos.

O ato de pesquisar é, essencialmente, um procedimento de investigação do desconhecido, a ser executado segundo óticas que podem ser artísticas, religiosas, especulativas (filosóficas) ou ditas científicas, caso apresentem resultados coerentes, reproduzíveis e, principalmente, socialmente aceitáveis. Da pesquisa do desconhecido resultam variados registros de ocorrência, ou seja, *dados* os mais diversos, cuja validade freqüentemente é suspeita e sujeita a constante e progressiva verificação. O conjunto organizado de registros perceptíveis da realidade, oriundo dos procedimentos de pesquisa, pode ser designado como *ciência*, termo que na sua acepção vernacular significa exatamente *conhecimento*. Entretanto, pode-se denominar como *ciência*, ou melhor, *campo científico*, a um agregado de conhecimentos organizados e referentes a uma determinada faceta da realidade percebida.

O conhecimento, ou seja, os dados, os conceitos, as idéias afinal, atuam sobre os homens e em particular sobre os pesquisadores, transformando-os. É importante notar o efeito que as idéias tem sobre os grupos sociais. É mais importante, porém, observar o que fazem os pesquisadores (e os grupos sociais, em geral) com as idéias. É fundamental que o conhecimento, a ciência enfim, seja apropriada segundo o interesse social, ao contrário do que ocorre comumente, ou seja, a apropriação dos benefícios de um esforço cumulativo e coletivo, como é a pesquisa científica, sendo feita por interesses particularizados. Existe, já no parágrafo anterior, uma provocação na caracterização da pesquisa científica válida como sendo aquela “socialmente aceitável”. Neste contexto, surge o conceito de *teoria*, um conjunto organizado de idéias aceitas e relativas a um determinado aspecto da realidade. As teorias podem também ser consideradas como conjuntos de prévias hipóteses, verificadas e estruturadas para explicar entidades e eventos percebidos.

Para a construção de teorias podem ser usados dois tipos de raciocínio (também denominados *métodos racionais*): a *indução* e a *dedução*. O raciocínio indutivo opera sobre associações de dados em sucessivas e numerosas verificações e assim edifica um corpo de conhecimentos organizado que é, em essência, a teoria que explica as associações estudadas. Parte, portanto, do particular e generaliza, teorizando. Não é um raciocínio inteiramente elucidativo (lógico), mas permite explicar a realidade, admitindo margens de erro, à luz do conhecimento adquirido. O raciocínio dedutivo, por outro lado, se apóia em relações conhecidas, algumas vezes já consubstanciadas em teorias aceitas. Investiga a realidade promovendo analogias e expansões das explicações existentes, a partir de premissas (Todos os homens são mortais. Sócrates é um homem. Sócrates é mortal).

É preciso notar que ambos raciocínios, o indutivo e o dedutivo, podem operar sobre estruturas de verificação, como é o caso dos experimentos estatísticos (“experimental designs”), de uso freqüente em pesquisas ambientais, particularmente na Agronomia. Com apoio, geralmente, na lógica formal, são criadas inferências sobre relações constatadas a partir da análise dos dados dispostos no experimento. Pode tornar-se difícil discernir onde termina a indução e começa a dedução, nestes casos, podendo afirmar-se que os dois tipos de raciocínio se conjugam na construção das teorias.

Esta discussão facilmente transcenderia os limites impostos pelos objetivos do presente texto, tornando-o eivado de especulações talvez pouco proveitosas. O leitor é remetido ao conceito de *paradigma* como sendo uma visão do mundo, uma valorização socialmente aceita de certos tipos de resultados, a qual sofre erosão ao longo do tempo e requer episodicamente substituição por novas concepções orientadoras da investigação da realidade, ou seja novos paradigmas. POPPER (1974) e KUHN (1987) são referências valiosas sobre esta temática. Trazendo a discussão para uma situação presente, pode ser lembrado que os avanços tecnológicos rapidamente trazem inovações e transformações metodológicas e conceituais (ideológicas) de absoluto interesse científico e social. Tal fato dá uma primeira imagem da premência com que deve ser feita a integração dos conhecimentos existentes nos níveis conceitual, metodológico e tecnológico, hoje ainda tendendo a progredir de forma dissociada.

No seu conjunto, é no nível ideológico acima delineado que se realiza a sanção das percepções obtidas pela investigação científica. No entanto, individualmente, a validação de uma pesquisa baseia-se no reconhecimento de que a investigação foi executada segundo procedimentos lógicos consagrados. O conhecimento científico é tido como organizado e necessariamente obtido sob procedimentos sistemáticos e reproduzíveis. Manter tal premissa significa caminhar com segurança durante os procedimentos de aquisição dos dados, sua análise e estabelecimento de sínteses e conclusões. Significa fazer asserções lógicas e documentadas. O *método* é, exatamente, o caminho, o encadeamento de procedimentos adotado para a obtenção do conhecimento científico.

Considerações metodológicas são o principal constituinte do presente texto. Relações entre o método científico e alguns conceitos basilares da pesquisa ambiental serão feitas adiante. Não obstante o fato de que toda investigação científica pode trazer inovações metodológicas e conceituais, a pesquisa dita metodológica é aquela que se dedica, especificamente, a testar novas maneiras de obtenção de conhecimento organizado.

Este texto procura mostrar caminhos destinados à obtenção e documentação de assertivas ditas científicas. Contrasta, ao usar a Geomorfologia em exemplos de aplicação, por exemplo, com a investigação de caráter estritamente tecnológico, que se ocupa da geração de procedimentos (tratamentos, ou seja *técnicas*) destinados à obtenção de resultados específicos. A pesquisa científica, quando estritamente voltada para a geração e análise destes procedimentos, e com objetivos práticos e específicos, pode erigir-se nos formidáveis conjuntos de conhecimentos relativos a um campo do saber, as denominadas *tecnologias*. São exemplos imediatos as tecnologias do sensoriamento remoto e do posicionamento geográfico.

A aquisição metódica do conhecimento exige que sejam obedecidos os limites da capacidade de identificação e classificação associados à percepção humana, direta ou instrumentalizada. Tais limites são impostos pela lógica e se expressam sob a forma de *princípios*, que são proposições irretorquíveis emanadas das propriedades percebidas nas entidades e eventos que compõem a realidade. Assim, se todo fenômeno (entidade ou evento) pode ter sua *localização* e *extensão* definidas em um referencial, se está em constante *evolução* e não se apresenta isolado, mas sim em *correlação* com outros fenômenos, sua percepção está inserida em um contexto lógico. Este contexto pode até não ser exato, ou verdadeiro, mas é lógico e, como tal, aceitável, em princípio. Em função desta inserção da análise de fenômenos em uma estruturação lógica, torna-se possível fazer identificações e classificações baseadas em singularidades, contrastes, similaridades e analogias. Em termos ambientais, podem ser criadas categorias que distingam e designem as entidades e eventos percebidos, pelos seus atributos físicos (cor, dureza), ou consoante suas relações funcionais (utilidade, valor), ou ainda segundo suas posições e extensões no referencial temporal ou espacial adotado.

É necessário, no desenvolvimento desta apresentação, trazer à baila um assunto controvertido, que exige do pesquisador uma opção que não é, em senso estrito, científica, mas sim ética e existencial. Trata-se do postulado da *causalidade*. Fora do conhecimento puramente matemático, não é possível se obter uma conclusão absolutamente segura a partir de uma pesquisa. Entretanto, todo pesquisador tem fé na possibilidade de explicar satisfatoriamente a realidade percebida, ou seja, aceita o postulado da causalidade, que solicita crença na possibilidade de serem levantadas relações de causa e efeito, com maior ou menor probabilidade de acerto. Este postulado está implícito na investigação científica. Em certo sentido, é um dogma necessário. Acredita-se na causalidade para continuar duvidando, isto é, pesquisando o desconhecido, o que nada mais é do que duvidar metodicamente. A dúvida generalizada, que gerou a base para o raciocínio cartesiano, não pode erigir-se em metodologia de pesquisa cotidiana, pois tenderia a paralisá-la. As dúvidas devem ser específicas e especificadas como alvo da investigação metódica. Excetuando-se o caráter dramático da afirmação, duvidar de tudo ameaça a própria existência do homem como espécie. Acreditar em algo é uma atitude que emana da própria vontade de sobrevivência do homem.

É preciso notar que atos de fé, como a crença na causalidade, têm conteúdo prático e não são apenas idéias inconseqüentes. Por exemplo, pode-se conceber a aplicação restrita, planetária, dos efeitos da gravidade terrestre, mas não tem muito sentido duvidar de seu valor prático, anedótico inibidor das tendências suicidas de quem pensa atirar-se de uma

andar alto de um edifício. Em um exemplo mais sério (?), acredita-se, sem necessidade de comprovações específicas, na validade de relações de causa e efeito condicionadas pela gravidade, quando se estuda o escoamento de águas superficiais.

Voltando aos esforços de relacionamento da visão sistêmica com a análise ambiental, através de uma aplicação direta desta perspectiva pode ser inferido o conceito de ambiente como um sistema. Esta visão não contradiz definições baseadas em características dinâmicas do *ambiente*, como, por exemplo, aquela que o apresenta como o produto da interação entre fatores físicos, bióticos e socio-econômicos, atuando de forma convergente na sua caracterização como fenômeno perceptível. O conceito de ambiente como sistema não considera apenas os processos geradores de fenômenos ambientais, mas também traz à baila, imediatamente, a necessidade de identificação de características importantes do ambiente, como a posição geográfica, a extensão territorial (que conduzem ao conceito de forma), e as relações espaciais e funcionais (estas últimas indutoras do conhecimento sobre a composição das entidades envolvidas). Assim sendo, convém discutir a relação deste conceito de ambiente com a visão sistêmica, de preferência segundo uma ordenação que facilite seu entendimento inicial, sua assimilação e, principalmente, a sua aplicação em situações concretas de pesquisa ambiental.

CHORLEY & KENNEDY (1971, pg. 1), definem inicialmente *sistema* como um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Pode parecer ao pesquisador menos avisado que tal definição é excessivamente abrangente, muito generalizada. É preciso notar que esta definição contem, como já foi mencionado acima, uma perspectiva, um ponto de vista quanto à realidade, a qual passa a ser encarada como um conjunto imbricado de estruturas perceptíveis. A amplitude desta acepção permite sua aplicação a um amplo espectro de campos da investigação científica, entre os quais se inclui a pesquisa ambiental. Conforme já sugerido no presente texto, longe de ser apenas uma visão acadêmica do mundo, esta perspectiva, além da grande aplicabilidade, pode erigir-se em um roteiro para a pesquisa, podendo ser usado em diversos níveis de abstração – conceitual, metodológico e tecnológico – por pesquisadores em diferentes estágios de preparação profissional.

Note-se também que a perspectiva sistêmica pode ser usada no tratamento de problemas taxonômicos, tanto no conjunto de atributos envolvidos em uma pesquisa (escalas de cores, de dureza), como na identificação e classificação de fenômenos com base em suas expressões territoriais e topológicas (baixadas costeiras, planícies fluviais). Esta última possibilidade é, obviamente, de direto interesse para a pesquisa ambiental. É exemplo um pouco mais complexo do uso da perspectiva sistêmica no universo dos atributos a expressão *sistema agrário*, que integra atividades e características sociais e econômicas diversas (classes de manejo agrônomo e de regime fundiário, comportando diversos rendimentos associados a variados cultivos e tipos de criação animal). Como exemplo do uso da visão sistêmica em relação a fenômenos que apresentam territorialidade evidente, pode ser citada a análise de uma bacia hidrográfica segundo as numerosas e identificáveis pequenas unidades de captação da água atmosférica que a integram. Este tipo de análise permite a discretização do espaço geográfico segundo entidades suficientemente uniformes, como são as micro-bacias. Para o geoprocessamento e para a modelagem ambiental em geral, a possibilidade de discretização eficiente do espaço geográfico é de importância capital, propiciando, em princípio, validade para correlações e classificações

destas unidades, pela sua baixa ou quase inexistente variância interna. No caso do presente exemplo deve ser acrescido que a utilização de microbacias como unidades de análise e integração de bacias hidrográficas permite considerar, na investigação, o encadeamento natural da circulação da água superficial de montante para jusante, o que permite criar uma hierarquia funcional das bacias (primeira ordem, de segunda ordem, etc.).

A percepção de estruturas hierarquizadas referentes a sistemas ambientais, semelhantes à exemplificada no parágrafo anterior, é obviamente importante, e pode ser tentada a partir da visão sistêmica devidamente tornada operacional através do geoprocessamento. Este apoio tecnológico/metodológico oferecido pelo geoprocessamento é o fator que o qualifica como um poderoso agente na criação de pontes entre as concepções teóricas, como é a da visão sistêmica, e a prática da pesquisa ambiental. Remete-se o leitor ao estudo do geoprocessamento como ramo do conhecimento intensamente aplicável às investigações ambientais.

Posteriormente, em valiosas ampliações, no texto citado, CHORLEY (1971) refina o conceito inicial acima apresentado, induzindo a que se atribua, aos sistemas, as características imanentes de apresentarem necessariamente limites, partes componentes, funções internas e externas. Uma vez aceita a concepção de *sistema* como sendo um conjunto estruturado de objetos e atributos, e que, repita-se, apresenta limites, partes componentes, funções internas e externas, torna-se aceitável também a concepção de ambiente como um sistema. Um *ambiente* seria um sistema com expressão espacial, com limites identificáveis, estruturado por funções internas, que dão consistência a suas partes componentes (que podem ser consideradas, quando cabível, sub-sistemas), e por funções externas que o relacionam com eventos e sistemas que lhe são exteriores. Com base nestas concepções de ambientes e sistemas torna-se a perspectiva sistêmica um poderoso apoio às pesquisas ambientais. Qualquer entidade percebida - inclusive a própria realidade concebida como um todo, isto é, como um sistema - pode ter seus limites de ocorrência examinados e eventualmente definidos, ser decomposta em partes componentes (as quais, repita-se, podem vir a ser consideradas sistemas por si próprias), ter investigadas as relações funcionais que interligam suas partes componentes e consideradas, também, suas relações com outras entidades e eventos externos (outros sistemas). Esta análise, estas investigações, constituem a base para o entendimento da entidade ambiental, em termos de sua constituição, funcionamento e possível inserção em estruturas que a contenham. Ao indicar procedimentos ordenados, sistemáticos, racionais, a serem adotados em uma pesquisa, não será esta visão, esta formulação, em si mesma, um roteiro de investigação ambiental?

Com relação à identificação de sistemas, deve ser ressaltado que, pelo menos na pesquisa ambiental, sua aplicabilidade pode ser entendida como restrita a entidades que tenham expressão física (real, como no caso de uma bacia hidrográfica; ou virtual, como são as estimativas de áreas de riscos de enchentes, secas, etc.). Um *sistema ambiental*, conseqüentemente, é uma entidade, tem uma dimensão territorial, uma localização em um referencial espacial, e não deve ser confundida com sistemas compostos por elementos pertencentes ao universo taxonômico (conjunto ou sistema de cores do arco-íris, sistema de classificação de solos segundo sua relação com o clima, sistema de classificação de minerais segundo sua dureza relativa). A menção aqui feita à existência deste tipo de

sistemas é feita por fidelidade à definição inicial de sistemas apresentada por CHORLEY (1971): conjunto estruturado de objetos e/ou atributos, que é uma aceção geral, não especificamente ambiental.

Ainda com relação à identificação de sistemas ambientais, estes não devem ser confundidos com *processos*, que são seqüências de *eventos*, percebidas como tendo caráter repetitivo e, forçosamente, são fenômenos que se verificam dentro da dimensão temporal. Processos se associam aos sistemas, ao traduzirem as trocas de energia/massa que são responsáveis pelas constantes alterações neles constatáveis, mas não podem ser com eles confundidos. Pode-se afirmar que, para fins da pesquisa ambiental, sistemas ambientais são entidades espaciais, enquanto processos são seqüências de eventos, com a ressalva de que um evento pode ter caráter singular, neste caso significando a ocorrência de um acontecimento único e não seqüencial.

É possível discernir a possibilidade de criação de estruturas de dados particulares, que se destinem a representar sistemas e permitir seu estudo. Estas estruturas de dados são os *modelos* e podem assumir diversas formas e níveis de complexidade. São exemplos os diagramas, mapas, equações matemáticas e também as *bases de dados georreferenciadas*. Este último tipo de modelo é de particular importância para a análise ambiental e o geoprocessamento, constituindo os *modelos digitais do ambiente* (XAVIER-DA-SILVA, 1982; Luiz: citar tam'bem o modelagem ambiental do Christofolletti). Trata-se de uma montagem de dados, normalmente contida em uma estrutura de processamento automático, que procura reproduzir os limites e as partes componentes do sistema ambiental e, se possível, os processos ambientais que caracterizam suas funções internas (de conexão entre suas partes componentes) e suas funções externas (que garantem sua existência através de trocas de energia e massa). Em termos operacionais, pode ser confundida com a base de dados georreferenciada, a qual transcende por conter não apenas os planos de informação básicos com os quais se inicia a análise ambiental, mas também porque pode abranger informação oriunda de bancos de dados convencionais e de avaliações de relacionamentos de diversos tipos (estimativas do potencial de interação entre localidades, por exemplo).

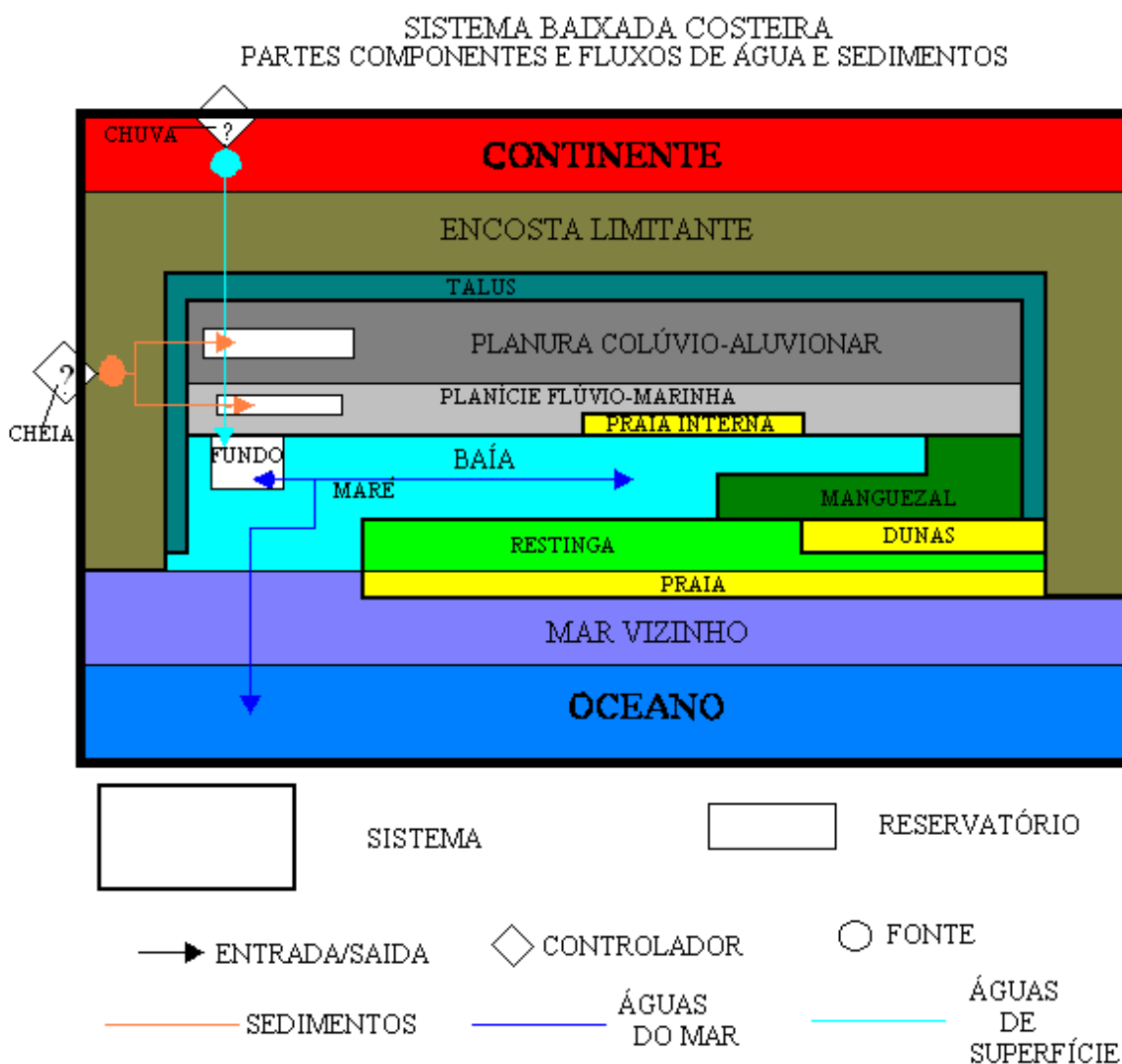
É axiomático que as dimensões tempo e espaço são concomitantes e contínuas. Sistemas ambientais estão inseridos nestas dimensões básicas e, como tal, apresentam-se em constante alteração. O levantamento de um ambiente, um lugar, em uma determinada ocasião (momento), forçosamente é um corte dirigido das condições espaciais e temporais assumidas como vigentes e suficientes para retratar os aspectos ambientais julgados de interesse para a pesquisa em realização. São estes cortes espaço-temporais, portanto, que tornam possível estudar os ambientes em constante evolução. A escolha cuidadosa destes cortes, em termos de sua posição no tempo e de seus componentes espaciais, é crucial para o desenvolvimento e para os resultados da investigação empreendida. Por exemplo, se forem imprescindíveis dados atualizados sobre o uso da terra de um determinado ambiente, não tem sentido trabalhar com dados defasados, os quais representariam uma ocasião anterior. Analogamente, se, para a mesma investigação, forem necessários conhecimentos sobre as declividades do terreno, que são características físicas do ambiente, esta informação terá que ser obtida, para que o corte espaço-temporal seja um eficiente apoio para a investigação ambiental. A estes cortes pode ser atribuída a designação de *situação ambiental*, que seriam “retratos instantâneos” do ambiente. Mais formalmente, estas

situações ambientais seriam as configurações ambientais geradas pelo conjunto de entidades e eventos associados espacialmente no ambiente considerado, referentes a uma determinada ocasião real ou hipotética (neste último caso como parte de estimativas de outras possíveis configurações).

A identificação e o início da análise das partes componentes de um sistema ambiental pode ser feita com apoio em diagramas como o da Figura 1. Este diagrama é preliminar à análise ambiental por geoprocessamento, embora possa ser usado para a representação simplificada de conjuntos de características ambientais (geomorfologia da área, na Figura 1). Destina-se à identificação de variáveis relevantes para a investigação ambiental e pode ser usado como elemento informativo e de suporte à escolha dos planos de informação que constituirão o modelo digital do ambiente a ser trabalhado por geoprocessamento.

FIGURA 1

A análise inicial da figura acima mostra uma aparente simplicidade. Realmente, a simbologia é de fácil apreensão e sua construção pode ser feita com qualquer editor gráfico. No entanto, algumas considerações relativamente elaboradas serão feitas a seguir, visando



uma utilização eficiente para este artifício de representação e raciocínio sobre sistemas ambientais.

- Cada uma das partes componentes (entidades) do sistema representado deve ter definidas, idealmente, sua composição (forma também, em alguns casos) e processos

geradores/alteradores. Em princípio, tal identificação é mais facilmente obtida para entidades que se restrinjam a um único parâmetro ambiental (Geomorfologia, no exemplo da Figura 1; este é um caso em que podem ser definidas formas das entidades). Entretanto, depende da capacidade dos criadores do diagrama a definição de entidades que realmente sejam significativas para o estudo ambiental empreendido, e para as quais possam ser definidos suas formas, composição e processos geradores/alteradores.

- Os fluxos que venham a ser representados deverão retratar relações importantes entre as partes componentes (entidades) do sistema. A estas linhas de fluxo podem ser associados controladores e reservatórios, que podem seus limiares de funcionamento e capacidade estipulados no diagrama, se a respectiva informação ambiental estiver disponível.

- Relações de posição e proximidade entre entidades podem ser graficamente contempladas na estruturação do diagrama. Na Figura 1, por exemplo, as entidades “praias” estão em contato com corpos líquidos, as “encostas limitantes” estão colocadas na periferia de áreas planas (“planura” e “planície”, no diagrama), aparecendo entre elas a entidade “talus”, como acontece na realidade ambiental.

- Estes diagramas, em sua (aparente?) simplicidade, podem representar, em caráter exploratório, dois níveis de análise de sistemas ambientais. O mais evidente deles é o que contempla as entidades ambientais, que pode ser designado como *nível morfológico*. O segundo se refere aos fluxos que ligam as partes componentes do sistema, sendo responsáveis por sua evolução. Poderia ser denominado *nível encadeante*, por relacionar as entidades ambientais entre si, através dos fluxos que as permeiam. Os conceitos de níveis de análise aqui apresentados foram extraídos e adaptados de CHORLEY (1971).

- A identificação e análise das entidades e fluxos relevantes (processos) em diversas situações ambientais referentes a um sistema ambiental pode conduzir à construção documentada de modelos do ambiente. No caso do exemplo apresentado poderiam ser consideradas duas situações, uma delas referente a cheias periódicas motivadas pelo ultrapassar da capacidade de armazenamento de águas pluviais pelos reservatórios considerados, e outra trazida pelo crescimento desordenado da urbanização de áreas alagadiças e/ou próximas de corpos líquidos. Pode ser facilmente inferida a possibilidade de estar este ambiente comprometido pela possível ocorrência de inundações de áreas urbanizadas, episodicamente, na atualidade ou no futuro, conforme alternativas possíveis do crescimento urbano. Este comprometimento pode ser estimado, em detalhe, por técnicas de geoprocessamento, após a criação de um modelo digital do ambiente do tipo que será apresentado adiante.

- A formalização de inferências como as citadas acima pode ser feita, inicialmente, no próprio diagrama, que pode tornar-se um modelo semi-pictórico ou mesmo quantitativo da realidade ambiental. A transferência destas ilações para uma base de dados georreferenciada também pode ser executada, definindo-se as situações ambientais e os respectivos planos de informação e legendas a serem obtidos e que constituirão a própria base de dados georreferenciada, gerando-se, assim, um modelo digital do ambiente que pode ser objeto de investigações por geoprocessamento. Esta transição entre o modelo

pictórico/sistêmico para o modelo digital do ambiente deve ser feita com base em um conhecimento mínimo da natureza dos dois tipos de modelo. Em consequência, como uma tentativa de ilustrar a incidência e as relações entre alguns dos conceitos apresentados e introduzir alguns outros possivelmente relevantes, é apresentada abaixo a Fig. 2, juntamente com algumas considerações.

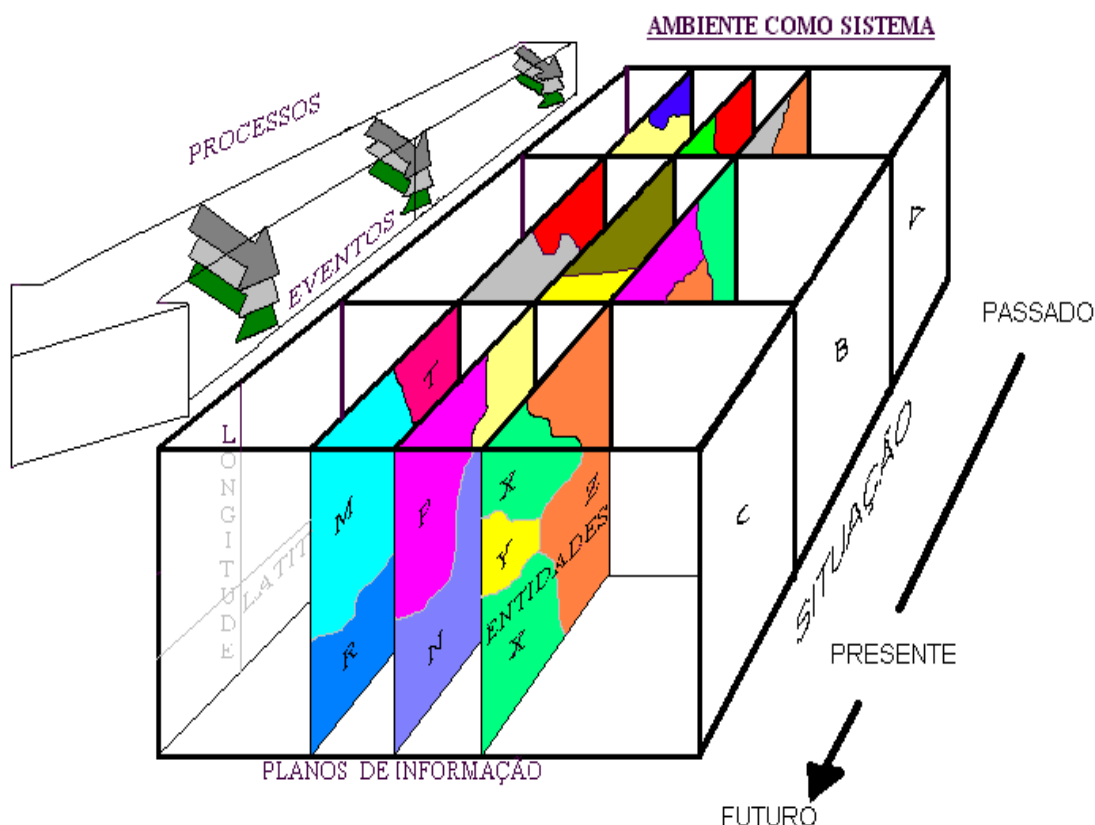


FIGURA 2

A Fig. 2 é um diagrama que apresenta quatro dimensões: largura, altura, profundidade e tempo. O ambiente é representado como um paralelepípedo segmentado em três situações A, B e C. Apresenta relações implícitas com sistemas geográficos de informação, na medida que contem os conceitos de localização (linhas de latitude e longitude representadas na face esquerda da situação C) e apresenta a base de dados como composta por *planos de informação* georreferenciados e relativos a cada situação ambiental. Nos planos de informação estão representadas as entidades que os compõem. O ambiente é representado, como realmente pode ser feito no âmbito do geoprocessamento,

através de uma sucessão de situações ambientais (os cortes espaço-temporais já referidos) que se projetam, como subdivisões do paralelepípedo, do passado para o presente e o futuro.

Os processos estão representados como um grande vetor, em posição superior e lateral no diagrama. Analogamente ao que ocorre com as situações ambientais e os sistemas que retratam, os elementos que permitem a percepção da presença e atuação dos processos ambientais são os eventos registráveis, que são apresentados como pequenas setas em sucessão vertical e contidas dentro do grande vetor “processo”.

O raciocínio básico que permeia ambas constatações – a primeira referente às entidades e a segunda relativa aos eventos - é o de que, necessariamente, estar-se-á discretizando os dois continua, espaço e tempo, ao proceder-se à análise, ou seja, à decomposição, da entidade “ambiente” que esteja sendo investigada.

Relacionando os diagramas apresentados, um dos planos de informação da Fig. 2 poderia ser o de Geomorfologia, com suas entidades tendo sido definidas a partir da criteriosa criação do modelo pictórico/sistêmico apresentado na Fig. 1.

Se forem investigados os elementos primitivos que compõem uma situação ambiental, poderão ser encontrados dois deles: as *entidades* e os *eventos*. Conforme já mencionado, a articulação destas primitivas em um diagrama representativo da realidade ambiental é feita na Fig. 2. As entidades compõem os *planos de informação* (definidos logo adiante) que, em conjunto, representam uma situação ambiental. Estas situações, em sucessão, retratam a evolução dos sistemas. Mostrando a possibilidade de integração desta visão sistêmica com o geoprocessamento, são apresentados, como componentes do diagrama da Fig. 2, os denominados *planos de informação*, que são os cartogramas digitais componentes da base de dados georreferenciada. Usando os exemplos de mapeamentos mencionados anteriormente, as entidades seriam as formas de relevo, ou os tipos de uso da terra ou as classes de declividade registrados para cada situação ambiental. Seriam as entidades (virtuais ou reais) retratadas nos mapeamentos segundo sua distribuição territorial e identificadas pelas respectivas legendas. Os eventos, de percepção mais sutil, seriam as instâncias dos processos ambientais que, atuando na dimensão tempo, são responsáveis, em retrospecto, pela situação ambiental, sobre a qual agiram em convergência (vide Fig. 2).

É importante notar que, muitas vezes, é através da montagem experimental (ou hipotética) e respectiva análise de situações ambientais que são geradas inferências sobre a atuação anterior de processos ambientais, muitos dos quais de reprodução impossível ou impraticável (orogenias, mudanças climáticas, terremotos, vulcanismo, e também expansões de inovações, revoluções tecnológicas e sociais). Os exemplos são inúmeros na literatura ambiental.

Em síntese, pode ser proposto que os ambientes, vistos como sistemas, atravessam sucessivas situações ambientais, em consequência da atuação dos processos que sobre eles convergem. O retratar de tais situações ambientais pode ser feito através de um modelo, que pode ser digital. É essencial que este modelo contenha as entidades relevantes para a

compreensão das seqüências de eventos (processos) responsáveis pela própria situação ambiental retratada.

A análise de diversas situações ambientais (situações de riscos, de potenciais de uso, de necessidades de proteção, de impacto, de ordenação geo-econômica, de zoneamento ambiental, entre outras) permite caracterizar um ambiente de uma forma diretamente voltada para a utilização racional dos recursos físicos, bióticos e socio-econômicos nele disponíveis. Podem ser obtidas respostas para questões ambientais absolutamente relevantes (e não diletantes ou apenas acadêmicas), tais como: O que? Onde? Com base em quais características vigentes? Associado a que? Beneficiando o que? Em prejuízo de que?

Podem ser tornadas operacionais, com esta estrutura de investigação ambiental, a decantada visão holística e a mistificada ocupação sustentada, uma vez que os zoneamentos, por exemplo, assim como todas as análises e sínteses executadas, podem ser conduzidos com base em critérios racionais, abrangentes, explícitos e reproduzíveis, como são os propostos pelo geoprocessamento corretamente orientado pelos conceitos apresentados até aqui. Existe certo desconhecimento, tanto entre ambientalistas como nas ciências da informação, em geral, das possibilidades (e limitações) desta profícua associação entre disponibilidades conceituais e tecnológicas. Talvez este fato possa explicar porque algumas análises ambientais e suas contrapartidas integradoras de zoneamento e ordenação territorial continuam sendo feitas com metodologias excessivamente subjetivas, com insuficiente detalhamento taxonômico e territorial, e com base em critérios não reproduzíveis.

As entidades e eventos que compõem uma situação ambiental se relacionam dialeticamente. O evento – uma enchente, por exemplo – reflete em suas características básicas uma acomodação às restrições geradas pelas entidades presentes na situação ambiental. Ou seja, uma enchente ocorrerá nas partes baixas da topografia do ambiente considerado. Ao mesmo tempo, a ocorrência do evento modificará certas condições ambientais. No caso do exemplo, a deposição de sedimentos resultará em modificações topográficas nas áreas baixas do ambiente. O exemplo é bastante direto, mas um pouco de reflexão conduzirá à imagem da validade deste raciocínio para outras relações entre eventos (como instâncias de processos) e entidades ambientais. Poderá ser assim percebido que é constante esta interação entre eventos e entidades, existindo desde as escalas microscópicas até às escalas de maior porte, retratando a própria evolução ambiental. Cabe referir, mais uma vez, que esta evolução torna-se constatável pela criação dos agregados de cortes espaço-temporais definidos acima como situações ambientais. Observa-se, mais uma vez, que estas situações são apresentadas na Fig. 2 como subdivisões do diagrama em profundidade (situações A, B e C), ou seja, ao longo do eixo temporal.

É preciso um certo cuidado com o uso de termos que poderiam ser entendidos como sinônimos do conceito de situação ambiental aqui expresso. Uma *avaliação ambiental* seria um caso particular de situação ambiental, já contemplado na definição acima apresentada como uma situação hipotética e, geralmente, associada a estimativas de riscos e usos potenciais do ambiente.

O conceito de *cenário ambiental* apresenta sobreposições com as avaliações e situações ambientais. Os cenários distinguem-se, no entanto, por serem datados e dependentes da prevalência das condições predeterminadas constituintes da premissa ou premissas que embasam suas estimativas de possível ocorrência. Nos estudos ambientais, os cenários usados comumente são de dois tipos: a) prospectivos, quando se referem a estimativas futuras, como são as estimativas das situações ambientais que poderão ocorrer em áreas costeiras em função de subidas do nível do mar causadas por degelo das calotas polares; e b) retrospectivos, quando referentes a situações passadas, como são exemplos as reconstituições de situações paleoclimáticas para explicação de formas e depósitos pleistocênicos.

O estudo da posição, da extensão e dos relacionamentos de entidades remanescentes de situações ambientais passadas, tal como registradas em bases de dados georreferenciadas, pode ser altamente informativo e permitir a reconstituição de cenários passados. Estimativas de razões de alteração ambiental podem ser feitas, se houver registros a intervalos convenientes que permitam a datação do cenário retrospectivo. Investigações sobre a natureza da progressão anterior de áreas urbanizadas constituem exemplos deste procedimento. Alterações verificadas na tipologia urbana das áreas estudadas são indicadoras da preferência exercida pela alteração investigada. Áreas residenciais se transformando em comerciais, degradação da atividade comercial em áreas centrais de grandes cidades são exemplos que podem conduzir à criação destas estimativas de situações ambientais pretéritas, ou seja aos *cenários ambientais retrospectivos*. Outro exemplo deste procedimento de análise retrospectiva pode ser dado em Geomorfologia. É o caso da investigação sistemática de entidades ambientais ditas “herdadas” (não explicáveis pelos processos geomorfológicos hoje atuantes). Estas entidades herdadas, uma vez identificadas na base de dados georreferenciada, podem ser analisadas em termos de suas relações espaciais e funcionais (em particular proximidades e inclusões em sistemas pretéritos, como é o caso de paleo-terraços associados a lagunas costeiras extintas), consubstanciando-se assim, por exemplo, a criação de cenários retrospectivos associados a variações climáticas e/ou do nível do mar.

Termos como *paisagem geográfica* e *quadro ambiental*, por outro lado, seriam praticamente sinônimos de situação ambiental, sendo o primeiro termo de uso quase que restrito à literatura geográfica clássica, e o segundo lembrando, em certa medida, uma condição estática que não existe nas situações ambientais.

Um termo genérico que agregaria entidades e eventos, para uso em descrições e análises de situações ambientais, seria “fenômenos ambientais”, o qual, por pertencer à linguagem corrente, dispensaria uma definição específica, a não ser a óbvia e recursiva conceituação de agregado de entidades e eventos que compõem uma situação ambiental.

Através do uso do geoprocessamento tornam-se disponíveis, para as análises ambientais, procedimentos que permitem a investigação detalhada de relacionamentos entre entidades pertencentes a um ambiente. A metodologia clássica de investigação ambiental baseia-se em inspeções pontuais e generalizações (IPG), feitas em campo ou a partir da inspeção de registros indiretos da localização e extensão de entidades ambientais, como são os procedimentos de foto-interpretação e análise de mapeamentos. Em flagrante contraste,

o geoprocessamento permite que procedimentos de varredura e integração locacional (VAIL) sejam usados na pesquisa ambiental. Tais procedimentos baseiam-se na existência de uma base de dados digitais a ser pesquisada e no uso do processamento eletrônico de dados como procedimento capaz de executar, incansavelmente, a busca absolutamente exaustiva de ocorrências singulares ou combinadas de características de entidades que estejam registradas na base de dados (XAVIER-DA-SILVA, 1997).

A possibilidade de uso da metodologia denominada VAIL, acima delineada, permite a identificação e a classificação de situações ambientais peculiares. É o caso da definição de Índices de Geodiversidade, feita a partir da utilização das entidades geomorfológicas, tal como registradas em um plano de informação de Geomorfologia (ou em qualquer outro plano de informação). Estas entidades passam a ser consideradas elementos isotrópicos nos quais pode ser feito, por varredura e integração locacional em cada um deles, o levantamento da ocorrência de diversas entidades ambientais referentes a outros planos de informação. Podem ser assim tabuladas estas ocorrências em cada tipo de entidade geomorfológica e criados diversos indicadores da denominada *Geodiversidade* (XAVIER-DA-SILVA, no prelo).

Finalmente, o conceito de *diagnóstico ambiental* necessita ser posicionado em relação ao termo situação ambiental. O diagnóstico é o produto da análise efetuada sobre uma ou várias situações ambientais, refletindo o conjunto de condições positivas e negativas prevalentes em um ambiente. É, portanto, composto a partir da análise de situações ambientais; conseqüentemente, sendo uma síntese, não deve ser confundido com suas partes componentes. É com base em um diagnóstico bem construído que podem ser feitas prognoses, base para a proposição das partições territoriais que constituem os afamados e, às vezes, mal concebidos, zoneamentos ambientais, para os quais é primordial a consideração das características geomorfológicas do ambiente.

O crescimento dos conhecimentos ambientais pode advir de investigações e processos atuantes ou de suas evidências de atuação anterior, e pode também originar-se de estudos idiográficos, matriz de muitos avanços nas ciências ambientais. Não deve ser ignorado, entretanto, o fato de que o progresso da pesquisa ambiental pode também advir de investigações que sejam projetadas com o uso de modelos sistêmicos traduzíveis em modelos digitais do ambiente, a serem trabalhados por geoprocessamento.

4. CONCEITOS VERSUS PRECONCEITOS

4.1. TENTANDO DISCIPLINAR O CAOS APARENTE

Identificar e classificar fenômenos registráveis, juntamente com a investigação de possíveis associações entre variáveis constatadas como componentes do problema, em busca de relações causais, constituem passos fundamentais do procedimento científico. É preciso considerar, entretanto, que a construção de um campo de conhecimento humano, para ser confiável, tem que basear-se em proposições universalmente aceitáveis, as quais darão consistência lógica aos procedimentos de investigação que venham a ser criados para a geração do conjunto de conhecimentos que, afinal, o comporão. Estas proposições são

estruturações básicas do raciocínio humano baseadas no bom senso, e são sistematizadas, geralmente, no campo da Lógica Formal, havendo outras tentativas de sistematização da aquisição do conhecimento, como, por exemplo, a Lógica dita Nebulosa, que se assemelha ao processo de raciocínio humano em situações triviais, e está sendo crescentemente utilizada como elemento de apoio à decisão em situações complexas, como são os problemas ambientais.

Na pesquisa ambiental merecem citação quatro proposições irretorquíveis, relativas à localização, extensão, correlação e evolução dos fenômenos registráveis:

- todo fenômeno é passível de ser localizado, através da criação de um referencial conveniente;
- todo fenômeno tem sua extensão determinável, a partir de sua inserção no referencial escolhido;
- todo fenômeno está em constante alteração;
- todo fenômeno apresenta-se com relacionamentos, não sendo registrável qualquer fenômeno totalmente isolado.

Estas proposições derivam dos atributos inerentes a qualquer fenômeno, fato que é reconhecível até por pesquisadores de formação eminentemente técnica, mesmo que com certa má-vontade. A estas proposições pode ser acrescentado o postulado fundamental da causalidade. Este postulado, ao contrário das proposições mencionadas, que tem consistência lógica própria, representa um ato de fé na capacidade humana de ganhar conhecimentos válidos sobre a realidade. Pode ser apresentado como uma crença na possibilidade de serem reveladas relações causais, entre as correlações constatáveis associadas aos fenômenos, conforme discutido a seguir.

Na pesquisa ambiental, diretamente ligada a medições necessariamente imprecisas que discretizam diretamente as dimensões básicas do tempo e do espaço, sempre terão que ser admitidas margens de erro e, conseqüentemente, as relações de causa e efeito terão validade relativa. É preciso, em conseqüência, acreditar que as relações causais assim determinadas sejam válidas. Para problemas mais simples, esta caracterização de um ato de fé pode parecer desnecessária - no caso de um risco de deslizamentos em uma encosta, por exemplo. No entanto, no caso de problemas ambientais de caráter sócio-econômico, quando relações complexas estão envolvidas, em particular quando ocorrem variáveis de difícil medição e/ou que somente podem ser expressas qualitativamente, muitas vezes torna-se flagrante a necessidade da crença no postulado da causalidade. A confusa evolução recente das concepções ideológicas e das teorias econômicas, em certa medida, atestam a importância dos atos de fé nos supostos procedimentos científicos adotados pelo Homem.

4.2. PROBLEMAS DA PERCEPÇÃO DITA CIENTÍFICA

A percepção científica do ambiente pode ser feita através de um contínuo processo de análises sucessivas, com as quais se identifica, se classifica e se explica a presença de conjuntos estruturados de objetos e atributos que se julga existir na realidade ambiental. Este procedimento é análogo ao da obtenção trivial de conhecimento, dela diferindo pelo caráter metódico, que é sua própria essência. Estes citados conjuntos estruturados, se

perceptíveis como um todo, podem ser denominados sistemas, se for adotada, como instrumento de percepção da realidade, a chamada *visão sistêmica* (VON BERTALANFFY, 1973). Para efeitos de investigação científica, é eficiente e elegante que os fatores físicos, bióticos e sócio-econômicos que se julga comporem a realidade ambiental, bem como a interação entre eles, constituam o foco principal desta visão de ambientes como sistemas, que pode ser erigida como pedra de toque da análise ambiental.

A percepção do ambiente, entendido como um sistema, é normalmente estruturada sob a forma de modelos, que são conjuntos organizados de dados aceitos como correspondentes às estruturas de objetos e atributos ambientais percebidos. Existem muitos tipos de modelos de percepção da realidade, desde os religiosos - baseados em dogmas - passando pelos artísticos - fundamentados no senso estético - até os numerosos modelos ditos científicos - ancorados na lógica. Um dos tipos de modelos mais usados atualmente na pesquisa ambiental pode ser denominado *Modelo Digital do Ambiente* (XAVIER-DASILVA, 1982). Corresponde, na linguagem de processamento de dados, a uma base de dados georreferenciados, sendo conhecidos internacionalmente como *GIS*, as outras acepções sendo a da tecnologia como um todo e a do uso do termo associado a um *software* conhecido. Comportando estruturas de captura, exibição e de análise (transformações dirigidas) associadas ao conjunto territorialmente integrado de dados ambientais, este tipo de modelo, denominado *Sistema Geográfico de Informação - SGI*, tem a capacidade de analisar relações taxonômicas e espaciais entre variáveis e entre localidades constantes da sua base atualizável de dados georreferenciados. Os *SGIs* permitem, assim, uma visão holística do ambiente e, através de análises sinópticas ou particularizadas, propiciam a aplicação de procedimentos heurísticos à massa de dados ambientais sob investigação. Se forem conjugadas a esta imagem dos Sistemas Geográficos de Informação as concepções e perspectivas apresentadas quanto às redes planetárias de comunicação, em particular a disponibilidade crescente de dados os mais diversos, ter-se-á uma visão aproximada, operacional e talvez pálida, do futuro da análise, do planejamento e da gestão ambientais.

SISTEMAS GEOGRÁFICOS DE INFORMAÇÃO E A ANÁLISE AMBIENTAL

O processamento eletrônico de dados ambientais em Sistemas Geográficos de Informação, pode traduzir, em termos operacionais, muitos conceitos sócio-econômicos altamente relevantes. Estes sistemas são capazes de expressar eficientemente, através de medidas diretas ou de estimativas indiretas, conceitos de expressão territorial tais como: "unidades potenciais de uso da terra", "zonas de influência", "áreas críticas", "centros dinâmicos de poder", entre outros. Tais sistemas podem, em consequência, prestar serviços valiosos para o planejamento geoeconômico, para a proteção ambiental e, em nível mais alto, para a análise geopolítica.

Na realidade, os Sistemas Geográficos de Informação, conforme discutido anteriormente, podem ser vistos como modelos digitais do ambiente. Permitem a avaliação de situações ambientais com uma precisão adequada e com economia apreciável do esforço humano na coleta e reorganização dos dados. A possibilidade de contato entre a mente dos pesquisadores e os dados abundantes, junto com a capacidade do sistema para a

reorganização dos dados de acordo com diferentes objetivos dos pesquisadores, constituem uma abertura real em direção às investigações ambientais sérias, desde que baseadas em documentação concreta e confiável (os dados armazenados), e em critérios eficientes e explícitos (a aplicação de algoritmos realmente adequados aos dados e aos objetivos visados).

Sistemas Geográficos de Informação podem funcionar com base em microcomputadores. Esta é, sem dúvida, uma possibilidade atraente, pois sistemas de baixo custo e eficientes tornam-se disponíveis para os administradores, pesquisadores, militares e políticos interessados em problemas ambientais nos níveis local, estadual, regional ou internacional. Apesar desta possibilidade, a comunidade técnico-científica brasileira tem se ocupado, principalmente, com a identificação e classificação dos fenômenos ambientais. Estas são tarefas necessárias mas não suficientes. Os instrumentos tecnológicos que permitem a análise real dos dados ambientais, já estão criados e precisam ser disseminados. Os Sistemas Geográficos de Informação, sendo modelos ambientais, são esses instrumentos, ao mesmo tempo, conceituais, metodológicos e tecnológicos. Eles respeitam e integram em si próprios algumas características fundamentais dos dados ambientais, tais como:

- a - os dados ambientais são extremamente numerosos. Milhões deles são gerados diariamente, tanto diretamente (medições), quanto indiretamente (interpretações), este fato impõe o uso do processamento de dados no seu tratamento;
- b - estes dados são de tipos variados e vêm de muitas fontes. Diferentes instituições de pesquisa podem gerar dados diferentes para o mesmo evento ambiental;
- c - os dados ambientais são sujeitos à classificações que podem ser abandonadas e têm graus variados de complexidade e aplicabilidade; esta condição, juntamente com a anterior impõem o trabalho multi e inter disciplinar;
- d - os dados ambientais têm, por definição, uma localização geográfica e, conseqüentemente, podem ser geocodificados. A partir deste atributo primitivo é que surge a possibilidade de construção de estruturas geocodificadas para o armazenamento, recuperação, atualização e transformação dos dados ambientais. Esta possibilidade exige, no quadro atual de evolução do Geoprocessamento e dos *SGIs*, criatividade e responsabilidade na adoção de perspectivas a serem utilizadas. Nos próximos parágrafos e no item seguinte serão feitas algumas considerações eventualmente relevantes quanto à relação entre os dados e os conceitos e métodos do Geoprocessamento.

Os avanços tecnológicos na geração de dados trouxeram um crescimento exponencial à disponibilidade de dados ambientais. Por seu lado a disseminação do uso da informática gerou baixos custos relativos para os equipamentos. Por outro lado, a geração, identificação e classificação dos dados ambientais são muito caros em termos de tempo,

dinheiro e recursos humanos. Além disso, para fins científicos, não é suficiente gerar, identificar e classificar os dados ambientais. Estes podem constituir uma expressão integrada de uma situação ambiental ocorrente sobre a superfície da Terra que, como tal, necessita ser analisada. É essencial, para qualquer campo da pesquisa ambiental e para qualquer pesquisador envolvido com tais investigações, desenvolver o tipo de análise peculiar aos dados ambientais. Esta análise requer a capacidade de decompor o ambiente em suas partes básicas, e requer a preservação, ao mesmo tempo, da possibilidade de alcançar um retrato único e integrado da situação ambiental sendo analisada.

Conforme discutido anteriormente, esta situação dialética entre os procedimentos de análise e síntese é contemplada pelos Sistemas Geográficos de Informação. Os dados ambientais têm, por definição, uma localização geográfica. Dada uma localização, um tipo de dado ali ocorrente pode ser identificado diretamente. Inversamente, uma pesquisa em área é necessária para se conhecer onde uma característica geográfica ocorre. Estes são os caminhos mais comuns através dos quais os dados ambientais são procurados. Conseqüentemente, a geocodificação, ou seja, o lançamento do dado ambiental dentro de uma estrutura segundo seu atributo axiomático de localização, pode ser facilmente entendida como o procedimento básico para a geração de um Sistema Geográfico de Informação. Este processo de geocodificação pode ser associado com a geração de processos automatizados de transformação (**análise**) de dados podendo, assim, ser estabelecido um contato múltiplo, real e eficiente entre o homem, a máquina e o volume formidável de dados ambientais. Este contato gera, sob forma digital, a informação ambiental, que pode ser definida como um conjunto de dados reorganizados intencionalmente pelo pesquisador, com a ajuda do *hardware* e *software* disponíveis. O objetivo fundamental de um *SIG* é produzir a informação. Este objetivo, explicitado até mesmo no nome do sistema, não tem sido adequadamente perseguido, em alguns casos, quando se transformam meios em fins, no afã de montar e manter um sistema em funcionamento.

A CARTOGRAFIA AUTOMATIZADA E O GEOPROCESSAMENTO

Os termos acima são confundidos, às vezes, por alguns ambientalistas. O texto a seguir não visa elucidar e eliminar controvérsias relativas ao escopo específico de cada um dos conceitos, mas apenas trazer, pelo seu cotejo, esclarecimento sobre suas diferenças. Aproveita-se o tema para apresentar uma visão comparativa dos tipos mais usuais de sistemas de informação que operam com modelos digitais representativos da realidade geográfica. Representam tipos de sistemas que usam Geoprocessamento em diferentes e escalonados níveis de operação, tipos estes que são sucessivamente englobáveis uns nos outros, em função da crescente complexidade que apresentam.

A Cartografia dita Automatizada apoia-se, como os sistemas seguintes, na computação eletrônica, em particular no processamento gráfico, e tem como finalidade principal a produção de representações digitais da realidade geográfica que sejam precisas e atualizáveis. Este é um objetivo extremamente nobre e exigente, destinando-se a fornecer a base cartográfica confiável e indispensável a qualquer investigação da realidade geo-ambiental. Conhecimentos específicos sobre deformações propositas executadas

sobre dados referenciados à superfície neo-esférica do planeta, sobre a natureza e funcionamento de métodos, técnicas e equipamentos de aerofotogrametria, juntamente com um refinado senso estético aplicado às representações cartográficas, entre outras qualificações, são requisitos fundamentais demandados pelo correto funcionamento de um sistema de Cartografia Automatizada. Esses conhecimentos são usados na operacionalização do objetivo básico de reproduzir, com a precisão associada à sua entrada, conjuntos de dados espacializados e atualizados. Estes conjuntos são os mapeamentos executados, acompanhados das respectivas alterações julgadas relevantes e verificadas entre seu armazenamento inicial e sua presente exibição.

O Geoprocessamento, por seu lado, focaliza, primordialmente, o levantamento e a análise de situações ambientais representadas por conjuntos de variáveis georreferenciadas e integradas em uma base de dados digitais. Necessita, por definição, contar com uma base cartográfica confiável sobre a qual coligirá seus dados, o que demanda conhecimentos sobre Cartografia Automatizada. Os objetivos do Geoprocessamento, entretanto, centrando-se na análise dos dados, não se confundem com os da Cartografia Automatizada.

Relações de dependência e precedência do tipo esboçado no parágrafo anterior podem talvez ser ampliadas e explicitadas por uma apresentação comparativa e despretensiosa relativa a tipos de sistemas que operam sobre bases de dados georreferenciadas. É o que será feito a seguir.

5. SISTEMAS TERRITORIAIS: TIPOS DISCERNÍVEIS

Nesta altura da presente exposição é cabível perguntar: como pode ser tornada operacional a visão dos ambientes como sistemas. Ela é, ao mesmo tempo, holística, isto é, integradora dos vários aspectos que revestem os problemas ambientais, e heurística, por permitir sínteses e a análise detalhada de entidades ambientais e de seus relacionamentos espaciais e funcionais? Uma possível resposta será apresentada sob a forma de diagramas representativos de estruturas de sistema geográficos de informação destinados ao planejamento e à gestão ambientais.

Inicialmente, convém distinguir entre os termos *planejamento* e *gestão*. O *planejamento ambiental* é um processo no qual são executados o levantamento e o diagnóstico das condições ambientais com o objetivo de otimizar o uso dos recursos ambientais disponíveis. Pode dirigir-se à exploração pouco ordenada ou mesmo desordenada destes recursos ou, inversamente, orientar-se no sentido da sua utilização racional e não predatória. Neste caso deverá contemplar a manutenção das condições de regeneração ambiental indispensáveis ao aproveitamento sustentado destes mesmos recursos.

O processo de planejamento ambiental geralmente origina documentos – um plano de ação – nos quais são apresentados os resultados dos levantamentos, diagnósticos e feitas prognoses e recomendações quanto ao uso atual e futuro dos recursos ambientais. O planejamento, que é um processo dispendioso e demorado, não deve ser confundido com

seu produto, que é o plano de ação (*plano de manejo* ou *plano diretor*). O que pode causar confusão, possivelmente, é que o processo de planejamento pode continuar após o início da implementação do plano de ação correspondente a planejamentos anteriores. Esta continuação do planejamento, que em princípio se dirige à elaboração de novos planos de ação, pode resultar em modificações necessárias no plano preestabelecido e em execução. No entanto, fazer destas correções de rumo a precípua finalidade do planejamento pode tornar excessivamente instáveis as condições de aplicação do plano de ação, desvirtuando-o e praticamente eliminando sua eventual eficácia.

Outro efeito danoso desta incidência das atividades de planejamento sobre os planos de ação ambiental é a confusão entre os conceitos de gestão e planejamento ambientais. Realmente, se é admitida a constante interferência do processo de planejamento sobre as disposições contidas no plano de ação ambiental, pode-se imaginar uma situação limite na qual o processo de planejar confunde-se com a execução das atividades previstas no plano. Estas atividades podem se tornar flexíveis até ao ponto de não mais se constituírem em ações preestabelecidas. A “gestão” destas modificações torna-se o objetivo dos planejadores, que deixam de ser investigadores da realidade e se auto-investem na posição de administradores, isto é, “gerentes” do uso dos recursos ambientais.

A verdadeira *gestão ambiental*, entretanto, não deve ser confundida com a mera capacidade de constantemente alterar planos de ação preexistentes, muitas vezes segundo constatações tendenciosas. Gerir racionalmente, metodicamente, um ambiente, significa acompanhar a evolução dos fenômenos de interesse, comparando as situações encontradas no presente com as que foram previstas no plano de ação e, principalmente, promover a intervenção quando realmente necessária, segundo informação relevante e baseada em novos dados, mediante o consentimento da autoridade competente. Tais cuidados com a política do planejamento e gestão territoriais minimizam a possibilidade de que a “gestão” seja conduzida em atendimento às idiossincrasias dos planejadores auto-erigidos em administradores. Estes aspectos da gestão ambiental são especificamente contemplados na arquitetura proposta para sistemas de gestão ambiental apresentada na Fig. 4. Nela pode ser observada a existência de módulos separados de decisão, atualização e acompanhamento/controle.

A distorção acima apontada é muito freqüente na administração de entidades públicas e particulares ligadas ao ambiente, no Brasil. Tentando esclarecer a distinção entre o planejamento e a gestão ambientais são apresentadas e comentadas as figuras 3 e 4, que são distintas estruturas de sistemas geográficos destinados a estas finalidades.

A - Sistemas de Planejamento Ambiental

Estes sistemas, por sua extensa capacidade de analisar relacionamentos de diversas naturezas, já apresentam nitidamente a complexidade típica dos *SGIs*. Incorporam funções de análise ambiental tais como levantamentos de ocorrências conjuntas, monitoramento de alterações ambientais, avaliações de situações críticas, criação de cenários possíveis, execução de simulações e definição de zoneamentos ambientais (Figura 3). Possibilitam, assim, a criação de um conjunto de conhecimentos integrados, que contém levantamentos

de ocorrências, prognoses, normas específicas e diretrizes de utilização dos recursos ambientais disponíveis.

Sistemas de planejamento podem compreender dois outros tipos de sistemas mais simples, que são os sistemas de *cartografia automatizada* e de *cadastro territorial*, comentados a seguir.

Os Sistemas de Cartografia Automatizada têm como funções básicas a captura, o armazenamento, a atualização e a exibição (reprodução fiel) da informação territorial cartografada. Suas partes componentes são apresentadas em cor cinza nas figuras 3 e 4. Uma vez corretamente instrumentados, os Sistemas de Cartografia Automatizada podem compreender desde a utilização dos posicionamentos geodésicos para apoio cartográfico, passando pela restituição aerofotogramétrica automatizada e pela atualização cartográfica apoiada em georreferenciamentos globais automáticos (*Global Positioning Systems - GPS*) e chegar à produção maciça de cartogramas digitais sob controle eletrônico. Destina-se a produzir cartas digitais, que podem ser traduzidas em mapas plotados em papel ou outro meio de impressão, os quais reproduzem, a partir dos arquivos digitais, mapas que poderiam ser feitos por meios cartográficos convencionais. A vantagem principal de tais sistemas cartográficos automatizados é a produção de mapas atualizados, impressos segundo as necessidades verificadas a cada momento, sem necessidade da geração de grande número de cópias de mapas, a serem produzidos segundo impressões de grande quantidade e a serem armazenados (correndo o risco de desatualização) para posterior utilização.

As operações com dados envolvidas neste tipo de sistema são as seguintes: entrada, atualização, recuperação (com a precisão da entrada) e edição/impressão. Pelo número de funções enunciadas pode-se facilmente inferir que não se trata de um sistema simples, havendo complexidade, em particular, na manutenção da precisão locacional, o que envolve problemas relacionados a referenciais geodésicos e projeções cartográficas, entre outros aspectos técnicos.

Os Sistemas de Cadastro Territorial, ou simplesmente Sistemas Cadastrais, podem incorporar algumas ou todas as funções dos Sistemas de Cartografia Automatizada, a elas adicionando as funções de associação com dados externos ao sistema, dados estes geralmente preexistentes, de geração independente e contidos em bancos de dados convencionais. O Sistema Cadastral é representado por entidades de cor amarela, nas figuras 3 e 4. Com esta associação tornam-se possíveis levantamentos exaustivos de condições geo-econômicas específicas, tais como as ligadas a fins tributários. É crescente o uso de sistemas de cadastros multi-finalitários como elementos de apoio à administração municipal. Neste sistema o objetivo principal está voltado para o levantamento de entidades de interesse para a administração político-econômica da área geográfica considerada. Constituem exemplos diretos deste tipo de sistema as estruturas geocodificadas de loteamentos e quadras em áreas urbanizadas, entidades estas que, juntamente com o levantamento de áreas edificadas, constituem um elemento básico para a cobrança de taxas e impostos, tendo também outros usos diretos, tais como levantamentos de ocorrências de interesse epidemiológico.

As operações com dados envolvidas neste tipo de sistema compreendem as do sistema de cartografia automatizada apresentado acima, com a adição fundamental de um elemento de identificação inequívoca dos tipos e ocorrências individuais das entidades ambientais previamente definidas e julgadas de interesse para as finalidades específicas do sistema. Outras operações importantes referentes a este tipo de sistema compreendem, entre outras:

- identificação e análise de relacionamentos entre diferentes unidades territoriais de integração/segmentação dos dados. São exemplos os setores censitários e os CEPs;

- identificação do relacionamento entre entidades ambientais e seus respectivos atributos não territorializáveis, porém de interesse para as finalidades do sistema. São exemplos o nome dos proprietários de lotes que estejam inadimplentes, com seus respectivos endereços, e o registro individual de ocorrências de moléstias contagiosas.

econômico, fornecendo conhecimentos indispensáveis para a utilização racional dos recursos ambientais disponíveis.

B - Sistemas de Gestão Territorial

Estes sistemas são os de nível mais complexo entre os tipos de sistemas mencionados. Incorporam em sua estrutura os sistemas anteriormente comentados, conforme consta da Fig. 4. Apresentam, em comparação com os Sistemas de Planejamento Ambiental, a adição de estruturas poderosas de captura e entrada periódica de dados, que devem constituir parte essencial de um *módulo de atualização* da informação ambiental contida no sistema (Figura 4). Gestão implica em decisão e não é recomendável decidir sem informação confiável e atualizada. Os custos associados a esta atualização da informação geralmente são subestimados e, muitas vezes, são astronômicos. Qualquer sistema que se intitule de "gestão territorial", entretanto, não pode prescindir de uma estrutura de atualização de sua capacidade de informação, sob pena de cair em completo descrédito.

Uma outra parte essencial de um Sistema de Gestão Ambiental (ou Territorial) é constituída por um *módulo de acompanhamento e controle*. Este é um módulo que permite freqüentes comparações entre as situações ambientais previstas no plano de ação já implantado e as situações ambientais encontradas na mesma localização geográfica e vigentes em uma determinada ocasião. Trata-se de um cotejo entre as situações planejadas e as que são constatadas a partir dos dados fornecidos pelo módulo de atualização. Discrepâncias entre o planejado e o acontecido na realidade ambiental são assim identificadas, em um primeiro passo para o efetivo exercício da tão decantada gestão territorial. A criação deste módulo de verificação de discrepâncias é tarefa complexa e dispendiosa, sendo muitas vezes negligenciada, por ignorância ou como tentativa malsinada de economia de custos de instalação do sistema.

As discrepâncias verificadas pelo sistema entre o planejado e o acontecido terão que ser resolvidas. Isto implica na existência de um *módulo de decisão*. Este é, geralmente, externo ao sistema e composto pela sua *direção* e por uma *estrutura de intervenção*, por sua vez subordinada à entidade hospedeira do sistema. O eficiente interfaceamento do Sistema de Gestão Ambiental com este módulo decisório é extremamente difícil e, no entanto, imprescindível à vitalidade do sistema. Este módulo deve comportar, além da capacidade de evidenciar as mencionadas discrepâncias, uma grande capacidade de gerir a implementação de medidas que venham a ser determinadas pela direção do sistema. Estas determinações da direção, quando muito numerosas e complexas, quando não corretamente decodificadas, inadvertidamente ou não, pelos administradores do sistema de informação, podem até mesmo desqualificá-lo inteiramente.

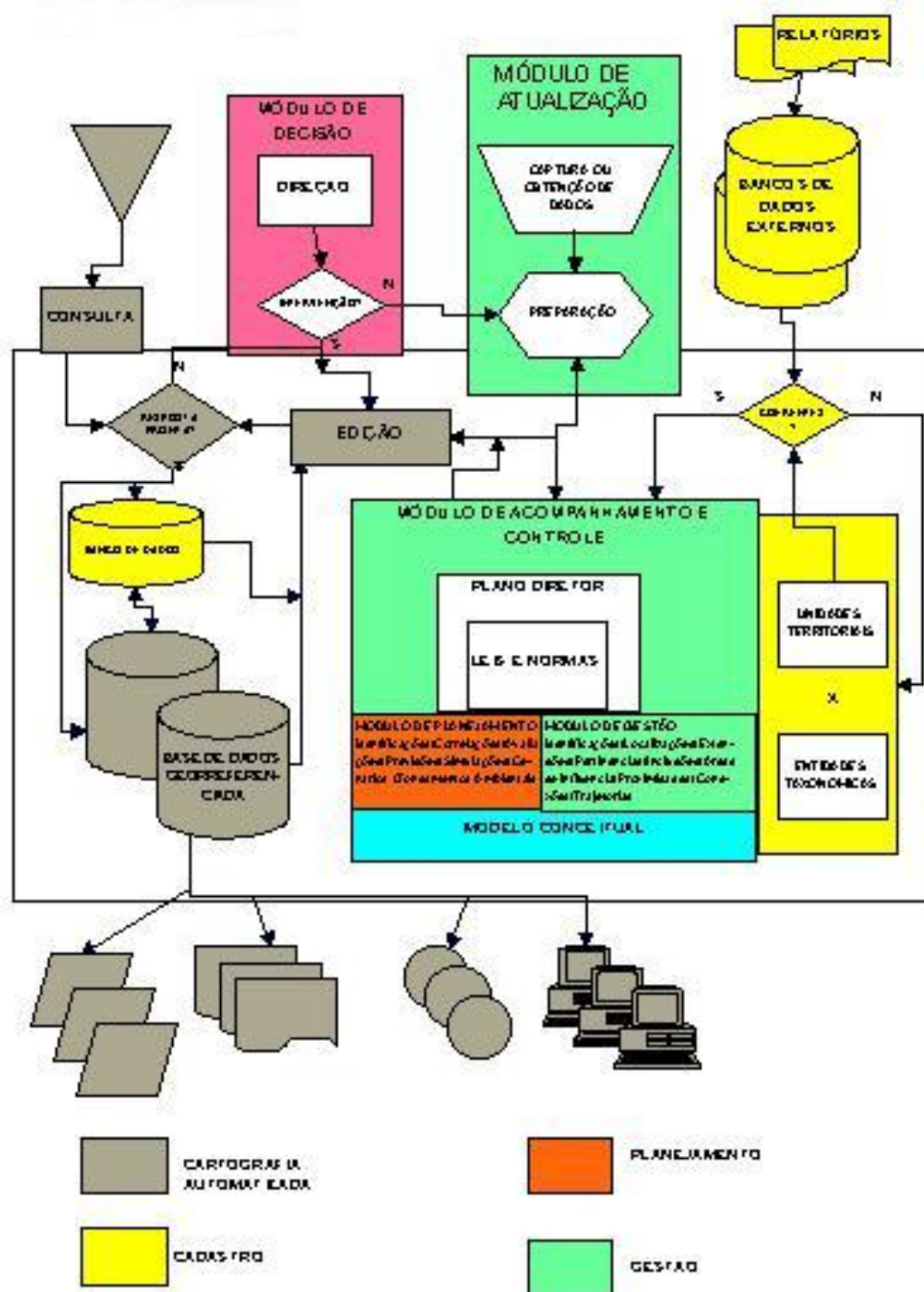


FIGURA 4

Ainda quanto a este tipo de sistemas cabe mais uma advertência. Um Sistema de Gestão Ambiental, já acima constatado como altamente complexo, atua não somente nos âmbitos do levantamento, da análise, do planejamento e do controle ambientais, mas incide fortemente sobre outras esferas da entidade que o abriga, forçando, inclusive, a adoção de metodologias inovadoras e a familiarização com novas técnicas de tratamento dos dados. Incide, como resultado desejado de sua própria existência, sobre a realidade ambiental, podendo gerar novos procedimentos de controle de situações ambientais e mesmo influir decisivamente na criação de novos padrões de comportamento entre as populações envolvidas. As repercussões destas modificações devem ser corretamente estimadas, com a previsão de possíveis desvios, e o tempo necessário à obtenção dos resultados almejados é geralmente muito maior que o inicialmente suposto.

Esta visão panorâmica e concisa dos Sistemas de Gestão Ambiental permite afirmar que sua complexidade e dificuldade de instalação e funcionamento são proporcionais à sua importância, o que justifica a atenção que devem merecer por parte de ambientalistas que sejam realmente responsáveis quanto à aplicação de vultosos e episódicos recursos na implementação de instrumentos modernos de gestão territorial.

Quatro imagens de sistemas ambientais foram apresentadas neste texto, juntamente com a discussão de conceitos necessários à assimilação da complexidade da modelagem ambiental. Estas imagens foram:

- A) Fig. 1, um exemplo de proto-plano de informação que, apresentando algumas entidades e alguns representativos de processos ambientais, induz à consideração e possível criação de outros planos de informação constituintes da base de dados georreferenciada, isto é, planos que poderão vir a integrar o modelo digital do ambiente sendo criado, juntamente com outros tipos de dados;
- B) a Fig. 2, que mostra o ambiente como um sistema;
- C) as Figs. 3 e 4, representativas de arquiteturas de Sistemas de Informação destinados ao planejamento e gestão ambientais. Transitar entre estes modelos é tarefa multi-disciplinar e difícil, requerendo trabalho de grupo, metódico, conhecimentos ambientais específicos e domínio de conceitos e técnicas a serem empregados judiciosamente.

CONSIDERAÇÕES SOBRE DADOS E PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

Os sistemas geográficos de informação podem ser considerados modelos digitais do ambiente, tendo o termo "ambiente" uma conotação adequadamente abrangente, considerando os fatores físicos, bióticos e sócio-econômicos que configuram a realidade ambiental dos territórios sob estudo (XAVIER-DA-SILVA, 1982). Com esta concepção torna-se clara a potencialidade dos *SGIs* para a análise de fenômenos que tenham expressão territorial. Os dados que os *SGIs* utilizam são das mais variadas origens, podendo ser geográficos, geológicos, biológicos, epidemiológicos, econômicos, sociais ou quaisquer outros que tenham o atributo de ocorrência territorial. Sobre estes dados operam os *SGIs*, como estrutura de processamento eletrônico de dados especificamente destinada à identificação e análise de correlações entre características ambientais, considerando,

também e diretamente, as relações topológicas das citadas características ambientais. É evidente que não é possível executar Geoprocessamento sem que seja gerada, de preferência por cartografia automatizada, uma base de dados geocodificados. No entanto, a estruturação da informação contida nos dados armazenados no sistema de cartografia automatizada pode diferir da estruturação usada na base georreferenciada destinada ao Geoprocessamento. No primeiro caso a informação ambiental pode estar armazenada como um conjunto de registros digitais (comumente denominados "níveis") referidos a entidades lógicas e respectivas características geométricas. Também pode acontecer que a informação ambiental esteja sob forma gráfica, porém ainda digital (a captura da toponímia como texto a ser colocado em uma determinada posição no mapa é, talvez, o exemplo mais comum), requerendo, neste caso, a plotagem dos arquivos digitais para sua leitura. No Geoprocessamento, por outro lado, a informação ambiental forçosamente deve estar referida a entidades lógicas e, mais ainda, as relações entre estas entidades devem estar definidas. Tal condição é essencial para que as transformações pretendidas sobre os dados se tornem exeqüíveis, ou seja, para tornar possível a geração da informação ambiental segundo os complexos níveis de agregação/desagregação requeridos para explicar e gerir a realidade ambiental.

As considerações do parágrafo acima levantam dois aspectos da problemática do uso do Geoprocessamento. O primeiro deles refere-se à metodologia de recuperação da informação contida em uma base de dados, sendo o segundo problema o da concepção das entidades e relacionamentos envolvidos no Geoprocessamento. Pode-se conceituar Sistemas Geográficos de Informação (*SGIs*) como estruturas de programação (pacotes de programas) que permitem a captura, o armazenamento e atualização dos dados, sua exibição e, acima de tudo, análises e integrações de dados ambientais. Com este tipo de sistema de informação tornou-se possível examinar a realidade ambiental segundo uma metodologia inovadora, a ser cotejada, a seguir, com os métodos de investigação ambiental ditos convencionais ou tradicionais.

Conforme já mencionado anteriormente, neste texto, a metodologia tradicional de investigação ambiental baseia-se na inspeção de locais identificados como representativos e relevantes para o entendimento do problema ambiental sob análise. De inspeções sucessivas e distribuídas pela área geográfica em estudo resulta a geração de um poder de extrapolação e generalização para o pesquisador, poder este usado para definir extensões territoriais de ocorrência. Mapeamentos pedológicos, geológicos, de aptidão do uso da terra têm sido assim produzidos. Usado judiciosamente, este tratamento de inspeção pontual e

generalização tem produzido resultados magníficos de identificação e mapeamento de situações ambientais críticas, podendo ser denominado IPG (inspeção pontual e generalização), para fins de simplificação de referências no presente texto.

É forçoso considerar que o desenvolvimento das técnicas computacionais gerou, para as investigações ambientais, novas possibilidades analíticas. Entre estas deve ser destacada a varredura minuciosa de uma área geográfica contida em uma base de dados em uso por um *SGI*. Além da varredura, os *SGIs* permitem conjugar numerosos dados, de diferentes naturezas (tipos, escalas, resoluções), em um procedimento que pode ser denominado integração locacional, uma vez que opera com base no atributo axiomático de localização, inerente a todo dado ambiental. Conforme mencionado anteriormente para efeito de simplificação de referências será usado no presente texto o acrônimo VAIL (varredura e integração locacional) (XAVIER-DA-SILVA, 1997; LORINI *et al.*, 1996 ; XAVIER-DA-SILVA *et al.*, no prelo).

Os procedimentos de varredura e integração locacional (VAIL) podem ser contrastados com os de inspeção pontual e generalização (IPG), de uso tradicional. Enquanto a IPG depende diretamente das capacidades de percepção espacial e extrapolação do pesquisador, a VAIL depende fundamentalmente da existência de uma base geocodificada e do uso criterioso de algoritmos classificadores disponíveis. Na IPG, o pesquisador, verificando ocorrências (no terreno ou em registros indiretos, como fotos, mapas e telas de monitores), pode cansar-se e deixar, eventualmente, de inspecionar locais relevantes. Na VAIL, com o uso de recursos computacionais, essa possibilidade é inexistente. Apoiada na resolução (física e lógica, isto é, territorial e taxonômica) adotada na base de dados geocodificada, uma varredura completa da área geográfica pode ser executada. Lacunas na análise espacial desejada somente existirão em função da qualidade da base de dados e não como subproduto do procedimento adotado. Na apresentação da aplicação de Geoprocessamento denominada Polígonos de Voronoi, a ser feita posteriormente neste texto, será demonstrado como a VAIL permite a adoção de um procedimento eficiente de zoneamento ambiental.

A criação de uma base de dados geocodificados é, em princípio, uma ação direta, demorada e onerosa. Para alguns, infelizmente, a geração destas bases é entendida como um fim em si mesmo. São produzidos mapas muito bem acabados, cartograficamente precisos e extremamente decorativos. Na realidade, uma base de dados geocodificados pode ser entendida como um modelo digital de um ambiente específico e, como tal, ser utilizada para análises ambientais (XAVIER-DA-SILVA, 1982), por definição fortemente dependentes da metodologia adotada. Na IPG a criação de bases de dados (forçosa em qualquer pesquisa ambiental, que não pode prescindir de informar onde e em que extensão estão ocorrendo os eventos pesquisados) é feita de maneira, em geral, pouco ordenada, sendo gerados conjuntos (às vezes desintegrados) de mapeamentos, relatórios e tabulações convencionais. Na VAIL, ao contrário, é forçoso que os dados estejam organizados para o processamento automático, sejam eles cartográficos (base de mapas temáticos) ou não territorializados (banco de dados convencional). Neste caso, apesar de exigir um esforço de sistematização maior, os benefícios são imediatos. Atualizações com qualquer frequência tornam-se possíveis. Análises dos dados armazenados para fins correlatos ou distintos da pesquisa original podem ser executadas. Os produtos gerados apresentam-se em uma

estruturação que facilita o entendimento entre os vários segmentos alvo (pesquisadores de distintas especialidades, técnicos, administradores etc.), sem perda de qualidade da informação.

Faz-se imprescindível ressaltar, neste cotejo entre as duas metodologias citadas, que o procedimento denominado VAIL não prescinde do trabalho de campo. Pelo contrário, permite que os recursos humanos e materiais disponíveis sejam usados de maneira eficiente, uma vez que o técnico vai a campo para inspecionar locais previamente indicados pela varredura realizada, ficando eliminadas visitas a locais que patentemente não sejam significativos para a verificação da validade de levantamentos de situações ambientais consideradas de interesse. Em síntese didática, pode-se dizer que se vai a campo não para levantar problemas, mas sim para encontrar respostas e cotejar explicações. Para atingir este nível otimizado de relacionamento entre atividades de pesquisa em gabinete (sobre a base de dados geocodificados) e ações de validação de hipóteses baseadas na inspeção da realidade ambiental (saídas a campo), é necessário que o *SIG* seja usado em sua plenitude, ou seja, de acordo com suas maiores potencialidades. Isto significa, salvo melhor juízo, criar uma estrutura de armazenamento de dados digitais realmente voltada para o Geoprocessamento.

As considerações metodológicas acima conduzem à conclusão inescusável de que uma base de dados geocodificados, para ter sua qualidade avaliada, precisa considerar as finalidades de sua onerosa construção e, ao longo de sua criação, devem ser respeitadas as potencialidades e limitações inerentes à estrutura de dados sendo criada e aos procedimentos metodológicos necessariamente associados ao Geoprocessamento.

Eventualmente interpretações errôneas podem advir da leitura deste texto. Deve ficar claro, de imediato, que não há qualquer sentido depreciativo nas considerações feitas sobre a cartografia e as pesquisas ambientais conduzidas por metodologias tradicionais, que representaram e ainda representam um papel imprescindível na construção do conhecimento humano sobre a realidade ambiental. Basta ter em vista que não existem substitutos tecnológicos inteiramente aceitáveis para o senso estético e para a capacidade de integração de múltiplos aspectos não quantificáveis e de difícil representação gráfica, os quais são comuns nas pesquisas ambientais e necessitam estar presentes nos respectivos documentos cartográficos. Assim sendo, as idéias que regem a presente apresentação estão altaneiramente voltadas para a contribuição que novos métodos e técnicas podem representar para o progresso das pesquisas ambientais e, para a correta realização das tarefas de levantamento de dados e montagem de bases de dados geocodificados de certa envergadura.

A cartografia convencional, por tradição, prepara o conjunto de dados a ser contido na base de dados para inspeção visual. Em termos de semiótica, isto é, como forma de comunicação, estaria associada à metodologia de inspeção pontual e generalização, embora permitindo uma visão sinóptica da realidade cartografada e, também e felizmente, a montagem de estruturas digitais de varredura (a leitura de mapas por *scanners*, por exemplo). Os mapas convencionais são feitos para serem lidos pela mente humana, o que é feito pela consulta à legenda e às informações adicionais de georreferenciamento neles existentes. A própria construção convencional de uma carta se dá pelo uso da metodologia

de inspeção pontual e generalização, haja vista à triangulação e aos nivelamentos topográficos, que dependem de interpolações para a definição da extensão territorial de características planimétricas e altimétricas, registradas pontualmente e aferidas aos seus *data* de referência, e interpoladas ou extrapoladas para as áreas adequadas. Este uso continuado e intenso da metodologia de inspeção pontual e generalização associado à um produto destinado à inspeção visual pode, em alguns casos, trazer certa dificuldade quanto ao reconhecimento de necessidades cartográficas ligadas à metodologia de varredura e integração locacional e, em particular, ao uso do Geoprocessamento.

A cartografia automatizada ou digital, tendo que atender à metodologia de varredura associada ao Geoprocessamento (em qualquer estrutura de armazenamento de dados georreferenciados, seja ela vetorial ou matricial, se executam varreduras em larga escala), deve propiciar os meios lógicos e gráficos necessários à análise dos dados digitais armazenados. Isto significa prover os meios e elementos para a execução de exaustivas buscas, no espaço geográfico da base de dados, de associações de características ambientais definidas no espaço taxonômico (de atributos). Como existe uma tradição de preparação das cartas para inspeção visual, pode ocorrer que nos registros digitais da cartografia automatizada fiquem colocados em segundo plano alguns atributos inerentes ao dado ambiental e importantes para o Geoprocessamento. Nestes casos, pode acontecer que tais atributos tenham apenas registros gráficos (geométricos) de suas ocorrências. Os seus conteúdos lógicos, nestes casos, somente são acessíveis a partir de uma saída gráfica, (mapa plotado), na qual a semiótica baseada na interpretação visual poderá atuar para definir o conteúdo lógico e as relações espaciais das entidades ambientais representadas cartograficamente. Cria-se, assim, uma distorção pouco aceitável. Uma estrutura digital onerosa torna-se dependente da produção de saídas gráficas (plotagens), que reproduzem o aspecto do mapa convencional, para a análise de seus dados.

. A NATUREZA DOS DADOS AMBIENTAIS E OS SISTEMAS GEOGRÁFICOS DE INFORMAÇÃO

Os dados ambientais são grandezas variáveis e territorializadas. São abundantes, diversificados, posicionáveis e de extensão determinável. A partir deles é possível obter conhecimento - muitas vezes precário - sobre a realidade ambiental. Transformações neles operadas propiciam informação. Sua reestruturação para atender a esta finalidade, entretanto, não é tão trivial como pode parecer a primeira vista. Sistemas Geográficos de Informação e as técnicas associadas de Geoprocessamento se propõem a realizar esta reestruturação dos dados ambientais, que pode ser dirigida a diferentes objetivos. Torna-se necessário considerar alguns aspectos relativos a estas relações entre os dados ambientais, os *SGIs* e as técnicas de Geoprocessamento, usando um esquema de apresentação de sucessivas imagens destes relacionamentos, de progressiva complexidade. Uma primeira visão territorializada de dados ambientais pode ser a denominada *matriz geográfica* (BERRY,1987), vide Fig. 6. Trata-se de uma disposição conjugada de variáveis segundo suas ocorrências em unidades territoriais. As variáveis escolhidas são dispostas em *n* linhas, e as unidades territoriais de integração dos dados (UTIs) são colocadas em *m* colunas. Os encontros de cada linha com cada coluna contem as instancias de ocorrência, que são os dados a serem analisados. São assim definidas duas capacidades de distinção (clivagens) para os registros de ocorrências utilizados:

- a) . uma resolução taxonômica, gerada pela escolha e quantidade de variáveis; e
- b) uma resolução espacial, expressa pela unidades territoriais de integração adotadas para a segmentação (discretização) da área geográfica a ser analisada.

		Resolução territorial (municípios, células regulares)				
		1	2	3	4	5
Resolução taxonômica (valor da produção)	A (arroz)	20	20	5	0	3
	B (banana)	180	180	0	2	2
	C (cana)	2	2	0	180	180
	·	·	·	·	·	·
	· N	· n	· n	· n	· n	· n

FIGURA 6

A MATRIZ GEOGRÁFICA

Fonte: adaptado de BERRY (1987)

Observe-se que estas unidades territoriais de integração não precisam ser geometricamente regulares. Uma vez que integrem a área, podem ser figuras de qualquer forma, registradas como estruturas celulares (*rasters*), assim como podem ser os polígonos criados pelos limites definidores de unidades municipais.

Uma análise desta matriz é ilustrativa da presença de uma nova forma de comunicação entre os dados e o pesquisador. O significado lógico de cada linha desta matriz se assemelha ao conteúdo informativo de um mapa. Ambas estruturas, o mapa e a matriz geográfica, oriundas de semióticas diversas, informam, de maneira cabal, sobre ocorrências verificadas na área geográfica sob estudo. Neste sentido, pode ser afirmado que cada linha desta matriz corresponde a um mapeamento da distribuição espacial da variável contida na respectiva linha. Assim sendo, uma linha de uma matriz de dados (visão

computacional) pode ser entendida, nesta estruturação, como um mapa (semiótica tradicional, de inspeção visual).

Merece especial realce o fato de que, usando a semiótica inovadora do Geoprocessamento, a partir dos dados dispostos em cada linha da matriz geográfica, é possível obter informação, entre outras, sobre medidas de tendência central e de dispersão, relativas à distribuição espacial de cada variável. Neste caso, a linha A teria a média aritmética de 9,6 e o desvio-padrão de 9,66, enquanto as linhas B e C teriam valores idênticos para a média (72,8) e o desvio (97,86). Entretanto, é preciso notar que embora as médias aritméticas e os desvios-padrão das linhas B e C sejam idênticos, os mapeamentos representados por estas linhas não o são. As distribuições territoriais das produções de B e C são diferentes e a matriz geográfica mostra isto claramente, enquanto a simples obtenção daquelas medidas caracterizadoras das distribuições de frequência de cada linha não acusa a diferença entre elas. Esta comparação mostra a diferença fundamental entre os tratamentos estatísticos elementares e o geoprocessamento, o qual revela, diretamente, a territorialidade dos fenômenos estudados.

Além da explicitação da territorialidade acima demonstrada, a matriz geográfica, mesmo sendo apenas uma primeira expressão da natureza dos sistemas geográficos de informação, permite outras operações relevantes sobre os dados ambientais. Torna-se possível toda uma série de manipulações transformadoras dos dados, sendo uma das mais diretas o agrupamento das UTIs segundo classes de ocorrência verificadas, gerando uma classificação destas mesmas UTIs. No caso da Fig. 6, é imediatamente observável que os municípios 1 e 2 apresentam valores idênticos em sua produção agrícola, constituindo-se em um grupamento diferente dos outros municípios. Este fato é também um indicador das possibilidades associadas ao uso das técnicas de Geoprocessamento, para as quais a matriz geográfica é uma entidade precursora e de grande valor didático.

Na realidade, todas as potencialidades dos tratamentos numérico-computacionais tornam-se disponíveis para o tratamento dos dados dispostos na matriz como um todo. Além da comparação entre linhas, o significado das colunas da matriz geográfica também merece maior análise. A disposição das colunas permite identificar cada unidade territorial e as instancias de cada variável a ela relacionadas. Isto significa que uma classificação multivariada das UTIs tornou-se possível, usando-se as instancias das variáveis como coordenadas identificadoras da posição de cada unidade territorial em um espaço multi-dimensional. Este espaço é definido pelo conjunto de variáveis dispostas como linhas da matriz geográfica. As UTIs podem assim ser comparadas, em termos das diversas variáveis consideradas em conjunto. A qualidade das classificações obtidas dependerá da acuidade com que as variáveis tenham sido selecionadas, ou seja, do poder diagnóstico destas variáveis, tendo em vista os objetivos da investigação ambiental em curso. Analogamente ao exposto para as linhas da matriz geográfica, muitos procedimentos numérico-computacionais são cabíveis para análise destas posições multi-dimensionais (dados dispostos nas colunas) das UTIs.

Tratamentos algébricos mais complexos podem ser aplicados aos dados dispostos na matriz como um todo, uma vez que seja providenciada a transformação e/ou padronização dos dados para uma escala de medição conveniente, assunto que receberá

algumas considerações em parágrafos seguintes. Várias regras de cômputo, ou seja, algoritmos diversos, podem ser aplicados à matriz geográfica, a qual, no entanto, pode ser ampliada para uma forma mais abrangente, apresentada a seguir.

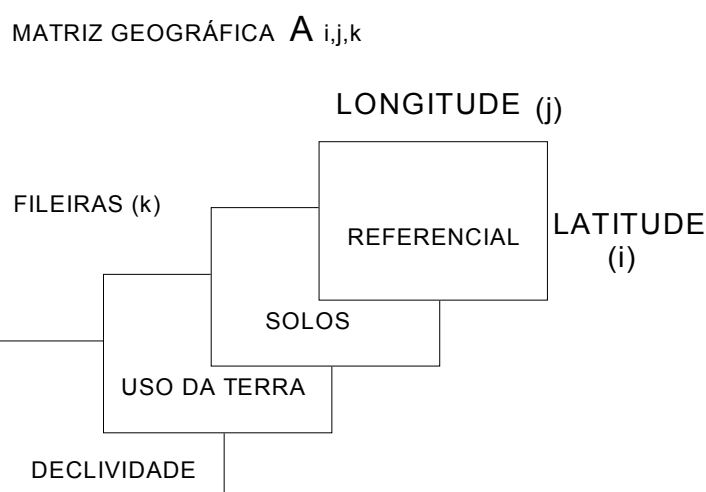


FIGURA 7

Esta é uma imagem mais próxima do referencial cartográfico convencional. É denominada estrutura de dados por "planos de informação", de grande utilização conceitual/metodológica nos *SGIs*. Corresponde a uma matriz tridimensional $A_{i,j,k}$, na qual existe um primeiro plano ou referencial geográfico (estrutura de georreferenciamento), onde a latitude (i) e a longitude (j) definem a localização de qualquer ponto constante da base de dados, havendo uma terceira coordenada (fileiras k) que é definidora da posição do ponto ao longo do seu eixo taxonômico.

Um aspecto importante desta imagem de estruturação de dados ambientais merece grande atenção: todas as operações identificadoras de posições, classificadoras por similaridades ou por comportamentos, definidoras de correlações e outros tipos de conexões, assim com a definição de razões (taxas) de alteração ambiental que venham a ser realizadas no espaço de atributos, definido pelas variáveis contidas no eixo taxonômico desta matriz, poderão ser automaticamente rebatidas no espaço geográfico definido pelo

plano de georreferenciamento. Passam a ser possíveis, com esta estrutura, operações sobre os dados (modelagens) que se aproximam das que ocorrem na realidade ambiental (composta por *situações* e comportando *eventos* e *entidades*), onde atuam, analogamente, de forma convergente no tempo e no espaço geográfico, os *processos* derivados dos fatores físicos, bióticos e sócio-econômicos do ambiente (vide Fig. 2).

6.3. ESCALAS DE MEDIÇÃO

A natureza dos dados ambientais traz, para o quadro promissor de manipulações esboçado nos parágrafos anteriores, um sombreado que é, ao mesmo tempo, problemático e desafiante. Os dados ambientais não são registrados segundo uma única escala de medição, conforme aparecem na Fig. 6. Para clareza de exposição, está sendo feita no presente texto uma apresentação paulatina das complexidade associada aos dados ambientais. Na realidade, os dados ambientais, muitas vezes, requerem que sejam tratados registros quantitativos e qualitativos em um mesmo procedimento analítico-classificatório. Isto traz dificuldades para o tratamento de dados por técnicas multivariadas, como são as de Geoprocessamento. Tornam-se necessárias operações de transformação/padronização de dados obtidos segundo diferentes escalas de medição, o que representa grandes possibilidades de deformação indesejável dos dados em uso e, até mesmo, riscos de invalidação de conclusões a serem obtidas.

As escalas de medição adotadas em estudos ambientais podem ser descritas como se segue.

A. Escala de razão (ou racional)

É a escala que permite todas as operações numéricas normalmente associadas à pesquisa ambiental. É baseada no campo dos números racionais (definidos como uma razão entre inteiros), infinito em extensão e densidade em qualquer intervalo, o que permite o rigor de medição que se faça necessário em qualquer discretização temporal ou espacial. Nesta escala a posição zero representa a ausência do atributo que se esteja medindo, o qual pode ser projetado negativa ou positivamente, com apoio nesta escala, com a precisão que for necessária. As razões entre duas posições assumem sentido lógico, além de seu sentido numérico (uma cidade com 10.000 habitantes é duas vezes mais populosa que outra com 5.000 habitantes). Em estudos ambientais é muito usada em contagens (populações), medidas de quantidade (tonelagens), de área e extensão (metros, quilômetros quadrados) e razões de alteração (velocidades, expansões territoriais), entre outras medições.

B. Escala de intervalo

Esta escala é muito semelhante à escala de razão, sendo infinita em extensão e densidade entre duas posições, mas dela difere por serem arbitrários o seu posicionamento e a extensão total dos seus intervalos, geralmente atrelados a condições físicas definidas (quantidade de calor, localização espacial). A sua posição neutra (zero) não representa a ausência do atributo e a extensão dos intervalos é aceita por convenção. Seus valores, via de regra, não se projetam regularmente para mais ou para menos infinito a partir do zero

arbitrário, e, embora seus intervalos possam ser adensados infinitamente, as razões entre quaisquer posições podem ter sentido numérico, mas nem sempre tem sentido físico, pois o zero não representa a ausência do atributo. Um exemplo imediato, relacionado diretamente à pesquisa ambiental, é o do sistema de medição das latitudes e longitudes. Seu atrelamento à forma neo-esférica da Terra e suas origens arbitrárias (Equador e meridiano de Greenwich), convencionais, limitam as instâncias de ocorrência dos atributos latitude e longitude. Assim sendo, a 90 graus de latitude não há longitude e a subtração de dois graus, para leste, de um ponto que esteja no equador e a dois graus de longitude oeste, não elimina o atributo de localização do ponto, o qual apenas passará a ter como coordenadas a latitude zero e a longitude zero. Outro exemplo pode ser referido ao uso de escalas de temperatura. Se for admitido que escalas como as denominadas Fahrenheit e Celsius medem a quantidade de calor existente em um ambiente, e considerar-se que em ambas escalas o zero não representa a ausência total de calor, verifica-se que razões entre posições perdem significado físico determinado. assim sendo, a posição 40 graus em qualquer destas escalas não é exatamente definidora do dobro da posição 20 graus, pois a quantidade de calor associada à posição zero perturba o significado da "proporção" 40 graus/20 graus.

Em pesquisas ambientais as duas escalas acima citadas são de grande utilização e os procedimentos de cômputo a elas associados são semelhantes. Os operadores matemáticos fundamentais de equivalência (=), comparação (> e <), soma, subtração, multiplicação e divisão são aplicáveis diretamente à escala de razão, podendo ser aplicadas, com as devidas ressalvas, à escala de intervalo. As medidas básicas de tendência central - *médias, medianas e modas* - são aplicáveis às seqüências numéricas registradas nestas escalas, o que, juntamente com o uso de operadores matemáticos, as torna particularmente importantes para a modelagem de processos ambientais.

C. Escala ordinal

Segue-se às escalas acima, em ordem de capacidade de operação com os dados ambientais, a escala ordinal. Nela é mantida a hierarquização de posições, pois esta escala tem o atributo lógico da transitividade, que define:

$$A > B \text{ e } B > C; \text{ logo, } A > C$$

Nesta escala não estão automaticamente definidos a extensão e o valor intrínseco dos intervalos, sendo, porém, mantido o posicionamento relativo das entidades que estejam sob sua ordenação. São exemplos do uso desta escala: a idade relativa das rochas e a escala de dureza dos minerais, em Geologia; em Estudos Sociais, as preferências eleitorais, que definem o eleito como o primeiro colocado entre os candidatos, independentemente do número de votos obtido pelo segundo colocado.

Rigorosamente, em termos matemáticos clássicos, os operadores explicitamente permitidos nesta escala são os de equivalência (igualdade de posição, neste caso) e os de comparação (> e <). Igualmente, as medidas de tendência central permitidas nesta escala são a moda e a mediana, uma vez que a média aritmética usa os operadores soma e divisão. Estas premissas, modernamente, têm sido colocadas dentro de uma ótica menos rigorosa, de forma a tornar exequíveis operações com dados ambientais, os quais, por si próprios, já são de obtenção difícil e cara e de manipulação muitas vezes problemática. Uma associação de estimativas inicialmente ordinais com o uso de uma escala de probabilidades (0 a 1, com a possibilidade do uso de estimativas *a priori* e *a posteriori*), ou sua conjugação com uma estrutura definidora de um "posicionamento nebuloso", permitem uma segmentação eficiente do eixo classificador inicialmente ordinal. Nestes casos, a densidade infinita do intervalo entre os limites mínimo (ou nulo) e máximo de pertinência à condição estimada permite que as estimativas sejam suficientemente detalhadas e, praticamente, geram uma escala de intervalo para o tratamento dos dados inicialmente ordinais. Com estas associações torna-se possível o uso dos operadores matemáticos básicos acima mencionados e de esquemas classificatórios baseados em valores médios (*index overlay models*, BONHAM-CARTER, 1996 – equação 9-2, p.287),

$$\bar{S} = \frac{\sum_i^n S_{ij} W_i}{\sum_i^n W_i}$$

onde:

\bar{S} = valor ponderado do polígono ou *pixel*;

W_i = peso do mapa *i*;

S_{ij} = valor da classe *j* do mapa *i* (classe encontrada no polígono ou *pixel*).

D. Escala nominal

A quarta e última escala a ser mencionada é a nominal, muitas vezes também denominada qualitativa ou de categorias. Esta escala é a que tem menor poder de manipulação dos dados ambientais, embora permitindo agrupamentos de categorias por similaridade (admitido um limiar de semelhança) de localização, forma, extensão ou funcionamento de entidades ambientais. Formalmente o único operador matemático permitido nesta escala é o de equivalência e a medida de tendência central admissível é a

moda (categoria de maior frequência). Um tipo especial de escala nominal é constituído por variáveis binárias, que admitem apenas um entre dois estados possíveis. A escala nominal tem forte e diversificado uso na pesquisa ambiental, bastando lembrar as categorias de uso da terra, litologias, solos, feições geomorfológicas, todas definidoras de entidades taxonômicas de uso corrente.

6.4. ASSOCIAÇÕES E TRANSPOSIÇÕES DE ESCALA: ALGUNS COMENTÁRIOS

Operações lógicas de associação, como "and", "or" e outras, podem ser usadas para definir possíveis relações entre entidades ambientais identificadas em qualquer das escalas apresentadas. Recuperações seletivas e entrecruzadas sobre dados contidos em bancos de dados convencionais podem ser obtidas e rebatidas sobre o espaço geográfico, normalmente utilizando estruturação relacional para os dados, com campos identificadores sendo usados para a ligação entre os dados em manipulação e as entidades territoriais contidas em bases georreferenciadas.

Transposições de dados entre estas escalas são possíveis. Alguns cuidados, entretanto, necessitam ser tomados. O alçamento de uma variável da escala nominal para as escalas mais sofisticadas de intervalo e razão, por exemplo, deve levar em conta que estará sendo atribuída ao dado categórico uma posição específica em um eixo de extensão infinita e, principalmente, deve ser considerado que o seu conteúdo numérico, assim definido, poderá ser usado em diversos tipos de modelagem. Em muitos casos, o uso de operadores interativos como os multiplicadores, potências, divisores e raízes impõe que sejam feitos estudos de sensibilidade do modelo a variações na posição específica da variável transposta. Este cuidado permitirá aquilatar a validade da transposição, particularmente em termos do seu significado físico (ambiental) na modelagem realizada. No caso de modelos que envolvam entidades espaciais e tenham operadores interativos (por exemplo, do tipo $A \times B \times C \dots \dots \times N$, onde uma ou mais destas variáveis A, B, C, N possua expressão territorial e tenha sido transposta da escala nominal), podem ocorrer impropriedades nos resultados, com propagação de erros associados aos relacionamentos entre variáveis e às estimativas de extensão de ocorrência territorial, no ambiente, dos resultados oriundos da aplicação do modelo (erros nas classes criadas e nas suas respectivas áreas de ocorrência). A identificação e a correção de tais erros podem mostrar-se difíceis, senão impossíveis, trabalhosas e de alto ou proibitivo custo.

Um tipo de transposição, em particular, merece alguns comentários. Trata-se da transposição de dados para a escala ordinal. Ela é sempre possível, a partir das outras escalas. Há uma degradação inicial de conteúdo na transposição de dados das escalas de razão e de intervalo para a escala ordinal, enquanto há um alçamento apenas aparente do conteúdo lógico na transposição de dados da escala nominal para a ordinal (a qual somente pode ser feita uma vez definida, "ad hoc", a finalidade da transposição). Entretanto, a colocação dos dados em uma única escala, associada aos tratamentos numéricos não ortodoxos do tipo dos mencionados acima, nos parágrafos relativos à escala ordinal, permite a extração de alta quantidade de informação ambiental a partir dos dados assim padronizados.

6.5. ASPECTOS RELEVANTES DA ENTRADA E EDIÇÃO DE DADOS

As tarefas de entrada e edição de dados constituem procedimentos cuja importância é, por vezes, mal aquilatada. É através destes procedimentos, afinal, que são criadas as imagens digitais das entidades ambientais julgadas relevantes. Durante a entrada e a edição dos dados, é preciso ter atenção, tanto com a transferência do conteúdo lógico das entidades para as imagens, quanto com a acuidade de representação das propriedades espaciais das entidades consideradas, principalmente sua localização e extensão, definidoras básicas de relações espaciais. A falta de consistência encontrada em muitas bases de dados, por vezes responsável pela invalidação parcial e até abandono de algumas delas, pode ter sua origem em procedimentos desavisados de captura e edição dos dados.

Os dados ambientais, ao serem usados para representar porções da realidade perceptível, exigem uma estruturação lógica inicial que os qualifique como réplica aceitável. Estas estruturações prévias, usadas normalmente em modelagem e denominadas modelos conceituais, são aplicáveis no caso do Geoprocessamento, no qual são criados modelos digitais de partes do ambiente, ou mesmo de ambientes como um todo. Idealmente este modelo conceitual deve ser criado antes mesmo da captura inicial da geometria e/ou conteúdo lógico das entidades ambientais, pelas razões consideradas a seguir.

O modelo conceitual é o recurso metodológico com o qual se definem as entidades a serem transcritas para o meio digital (vide exemplo na Fig.5). Representam estes modelos o elo múltiplo entre: a) o conhecimento teórico existente; b) a finalidade da investigação procedida; e c) as dificuldades de transposição da imagem e do conteúdo lógico destas entidades para o meio digital. Por exemplo, a legenda de um mapa representa, em princípio, a melhor classificação para o tema mapeado (pelo menos no julgamento dos responsáveis pelo mapeamento). Esta legenda é um conjunto de atributos identificadores das entidades ambientais julgadas relevantes. Este conjunto deverá ser associado aos pontos, linhas e áreas, ou seja, às primitivas de construção gráfica de um espaço bi-dimensional (no caso dos *SGIs* mais comuns, não tri-dimensionais), as quais digitalmente representarão a geometria das ocorrências das entidades julgadas relevantes (o raciocínio aqui apresentado pode ser expandido para mais dimensões). Isto significa que estas primitivas geométricas precisam ser organizadas, estruturadas, segundo normas lógicas, coerentes.

Estas normas lógicas de organização, que no fundo constituem e definem a própria estrutura adotada, compõem o que poderia ser denominado estruturação representativa dos dados espaciais, ou mais simplesmente, *estruturação dos dados*, e é o correspondente operacional do modelo conceitual. É a transcrição digital destes modelos, constituída pelos correspondentes arquivos de dados e respectivos formatos. Esta transcrição deve refletir a exatidão das medições geradoras que tenham sido adotadas, ter precisão e consistência nas suas representações do mundo real, e propiciar eficiência no armazenamento e recuperação da informação. É pela construção harmoniosa das relações entre os formatos dos arquivos, a estruturação dos dados, o modelo conceitual criado e as finalidades almejadas que se garante a integridade e a eficiência da análise ambiental por Geoprocessamento.

ESTRUTURAS BÁSICAS DE DADOS GEORREFERENCIADOS

Pela natureza diversificada e abundância dos dados ambientais, a prática do geoprocessamento pode constituir-se em um formidável problema. A adoção de diferentes escalas de medição para o registro das ocorrências é uma dificuldade adicional considerável, limitando as possibilidades de tratamento desses dados, conforme apresentado anteriormente neste texto. A este quadro cumpre acrescentar, no entanto, dificuldades oriundas das diversas estruturas representativas dos dados e dos formatos digitais heterogêneos que, historicamente, foram sendo criados, adaptados e usados para geração de bases de dados ambientais. As principais destas estruturas serão apresentadas a seguir.

Dois tipos básicos de estruturação de dados, com seus formatos de arquivo associados, são usados em Geoprocessamento: a celular (matricial, em grade, "raster"), e a vetorial. Ambas são usadas para representar digitalmente entidades ambientais, e podem ser estruturadas, de maneira inteiramente ordenada, nos referenciais a que estejam aferidas.

As estruturas vetoriais identificam, em um espaço virtual, as entidades ambientais singularmente como pontos, linhas ou polígonos (espaço bi-dimensional), identificação esta usualmente acompanhada da criação de um polígono "de fundo", que completa o cobertura de todo o plano de informação sendo trabalhado. A reprodução da forma e extensão das entidades digitalmente representadas (e seus corolários cartográficos de posicionamento geográfico e cálculo de áreas) apoia-se, geralmente, nas coordenadas que as identificam em um espaço cartesiano. Isto permite a reprodução elegante das geometrias capturadas, embora a exatidão das medidas (isto é, a correspondência de forma e extensão entre a entidade real e sua representação digital) repouse na acuidade do documento original, fato importante que, algumas vezes, não é adequadamente avaliado, por sua natureza, de certa forma, subreptícia.

Por seu lado, a estrutura matricial utiliza unidades de discretização (células), com as quais representa as entidades espaciais sob a forma de conjuntos (agregados de células representativos de áreas, linhas ou pontos), um dos quais, inclusive, é o próprio plano de informação. Estas células podem ter um tamanho único, para elas previamente definido em função das finalidades pretendidas para a investigação ambiental (resolução). Alternativamente, estas células podem ter tamanhos diversos, estruturados segundo uma ordenação pré-definida de segmentação territorial, como, por exemplo, as árvores de quadrantes ("quadtrees"). Para ambos tipos de agregados de células é definida uma forma de varredura dos planos de informação a ser utilizada na análise e reprodução destes planos.

O quadro abaixo (Fig.8) permite visualizar algumas das diferenças mais flagrantes entre "rasters" e vetores.

Estrutura Digital	ELEMENTOS GEOMÉTRICOS		
	Ponto	Linha	Área
<i>Vetor</i>	Par de coordenadas	Seqüência de pares de coordenadas	Polígono fechado
<i>“Raster”</i>	Célula (Pixel)	Conjunto de células ligadas por um lado ou um vértice	Agregado de células ligado por lados ou vértices

FIGURA 8

Tendo suas estruturas lógico-geométricas diferenciadas, conseqüentemente os procedimentos computacionais adotados nos tratamentos de "rasters" e vetores, em princípio, são diferentes, seja na captura, na edição, na análise ou na exibição dos dados digitais. Presentemente, está ocorrendo uma conjugação dos dois tipos de estruturação em Geoprocessamento, em particular nas tarefas de edição de dados, enquanto na análise de dados se recorre à transformação de planos de informação vetoriais para planos matriciais, para facilitar, principalmente, a superposição de mapas digitais. Na exibição de mapas há muito ocorre esta transformação, uma vez que, via de regra, as telas dos monitores são estruturas matriciais.

A literatura de Geoprocessamento registra numerosas comparações entre "rasters" e vetores. Seria excessivo para o escopo deste texto tentar dirimir as controvérsias havidas. Pode ser lembrado, entretanto, que, em termos de captura dos dados, o procedimento de escandimento (uso de *scanners*), naturalmente associado a estrutura matricial, tende a tornar-se dominante, com o conseqüente abandono das técnicas de captura de dados em mesas ou pranchetas de digitalização, apoiadas no direcionamento manual de cursores. Atualmente tende a generalizar-se o uso de *scanners* para digitalização da geometria das feições ambientais registradas em planos de informação, com posterior atribuição do conteúdo lógico das entidades ambientais através de processos específicos de identificação. Estes processos podem ser externos (uso de identificadores associados a bancos de dados convencionais) ou, em muitos casos relativos a mapeamentos temáticos, associados a vetorizações interativas, isto é, dependentes da intervenção do usuário para sua concretização. Tais procedimentos podem retirar da entrada de dados uma fonte de erros que tem prejudicado a qualidade de muitas bases de dados georreferenciados. É realmente pouco aconselhável atrelar a responsabilidade pela captura da geometria de entidades ambientais, por vezes caprichosa, à acuidade visual de um ser humano, executor do cansativo acompanhamento de um cursor sobre as inúmeras linhas e pontos que compõem a representação cartográfica de um ambiente.

Um aspecto importante das estruturas "raster" deve ser ressaltado. Nestas estruturas. Ao contrário do que acontece em estruturas vetoriais, o aspecto

topológico/espacial estão diretamente representados no plano de informação, isto é, as características de localização, extensão e conexão (proximidades, contigüidades e ligações viárias, principalmente) estão implícitas, podendo ser identificadas e analisadas por procedimentos de varredura da matriz (vide a metodologia VAIL, já comentada no presente texto).

7.1. PRINCIPAIS TIPOS DE ESTRUTURAS "RASTER"

As principais estruturações *raster* são enumeradas e comentadas a seguir. Uma apresentação formal dos formatos de arquivos relacionados a estas estruturações extrapolaria, de certa maneira, o âmbito do presente texto. O leitor é remetido aos manuais de processamento gráfico para aprofundamento das características específicas destes formatos.

A. Estrutura matricial

Nesta estrutura é criada uma correspondência entre a discretização do plano de informação e o arranjo de linhas e colunas clássico das matrizes bi-dimensionais A_{ij} , onde "i" representa a posição da linha e "j" a posição da coluna. Também a correspondência entre estas dimensões da matriz e as coordenadas de localização no espaço geográfico pode ser criada, através da conversão de medidas decimais para sexagesimais e transposição para o quadrante de interesse (as coordenadas geográficas, angulares, somente tem a origem no canto superior esquerdo no caso do quadrante oriental do hemisfério sul).

Em muitas bases de dados são usadas coordenadas métricas, usando um referencial ortogonal baseado na projeção Universal Transversa de Mercator e conhecido como sistema UTM. Este sistema de localização é produto de acordos internacionais sobre localização geográfica em escalas maiores que 1:250.000. Mesmo usando as coordenadas UTM é necessário construir cuidadosamente a correspondência com a matriz A_{ij} , uma vez que:

- o sistema UTM, composto de 60 faixas longitudinais de 6 graus cada, não recobre toda a superfície terrestre, estendendo-se, aproximadamente, entre as latitudes 80 graus norte e 80 graus sul; em latitudes superiores a convergência dos meridianos é impeditiva da aplicação do sistema;
- as áreas cobertas pelas janelas cartográficas do sistema UTM se estendem por 10.000 km a partir do Equador, na direção norte-sul (isto no Hemisfério Sul; no Hemisfério Norte os afastamentos do Equador já são naturalmente positivos). Cada janela está aferida a um meridiano de origem, ao qual é aposta uma constante de afastamento longitudinal de 500 km. Com este artifício as coordenadas são lançadas no primeiro quadrante trigonométrico e, portanto, tem sua origem no canto inferior esquerdo da área geográfica representada. Ajustes e decisões quanto a esses referenciais UTM tornam-se necessários quando a área coberta pela base de dados abrange duas destas janelas cartográficas.

Em Geoprocessamento, a leitura de mapas por escandimento é um procedimento de captura de dados cada dia mais comum. Tal incremento acompanhou o crescimento

exponencial, nos computadores, do tamanho das memórias principal (RAM) e secundárias (discos rígidos), juntamente com o aumento das velocidades de processamento. Em consequência, tornou-se possível tratar massas de dados enormes por Geoprocessamento, mesmo usando computadores de baixo custo. Matrizes de 5.000 por 5.000 pontos podem ser contidas em telas virtuais, compreendendo, portanto, massas de dados da ordem de 25 milhões de pontos. Apenas como ilustração, o rebatimento desta matriz sobre o espaço geográfico pode realçar a importância do crescimento da capacidade de processamento dos computadores. Admitida uma resolução de 25 metros (tamanho da célula) e uma escala original do mapa a ser escandido de 1:50.000, qualquer matriz de 5.000 por 5.000 células cobriria uma área geográfica (extensão de um plano de informação) com 125 km por 125 km, com precisão imperceptivelmente próxima da precisão cartográfica normalmente aceita (0,2 mm). Reproduzida na escala de 1:50.000, cada célula da matriz teria 0,5 mm, enquanto o círculo definidor do erro de localização geográfica, tendo 0,2 mm de raio, teria 0,4 mm de diâmetro. Com escandimentos de maior resolução é possível criar matrizes com células sensivelmente menores que o círculo definidor da precisão cartográfica, embora criando massas de dados maiores.

Outro aspecto pode ser mencionado, ainda relativo à entrada de dados por *scanner* e criação de estruturas matriciais. A resolução de 300 DPIs (*"dots per inch"*) gera um *pixel* (*"picture element"* - elemento pictórico) com 0,08 mm, aproximadamente. As linhas mais delgadas traçadas em mapas normalmente têm 0,10 mm, ou seja, são capturáveis pela resolução de 300 DPIs. Esta é uma resolução de captura da geometria das entidades cartografadas (escandimento) cerca de 2,5 vezes mais detalhada que a precisão cartográfica de 0,20 mm. Isto significa, em última análise, que não são necessárias resoluções de escandimento superiores a 300 DPIs para capturar dados cartográficos, embora estas resoluções mais fortes possam ser utilizadas para gerar densidades de *pixels* destinadas a combinar e modificar resoluções diversificadas e associadas a mapas de diferentes escalas e conteúdos temáticos.

Outro ponto que merece ser salientado, quanto ao escandimento de mapas, refere-se ao georreferenciamento do plano de informação representado digitalmente pela matriz de dados. Este posicionamento depende da orientação do escandimento, em princípio guiado pela direção Leste-Oeste (pelo menos para o escandimento e para matrizes cuja ordem de captura e reprodução seja linha a linha). Deve, também, ser estabelecida a posição geográfica da primeira célula da matriz, a do seu canto superior esquerdo (na realidade, pela estruturação dos dados na matriz, basta definir uma posição de qualquer célula, uma vez admitido um escandimento correto). Ajustes e correções de erros associados a estes posicionamentos podem ser executados sobre a matriz de dados já capturada, através do uso de programas de processamento gráfico; porém, o entendimento básico destas operações é imprescindível, até mesmo para a implementação das medidas de ajuste ou correção.

B. COMPRESSÃO LINHA A LINHA (*RUN-LENGTH ENCODING*)

Uma das formas mais imediatas de conseguir economia de espaço no armazenamento de dados digitais originados sob forma matricial é executando compressões dos dados ao longo de cada linha da matriz. Cada classe das entidades representadas na matriz, que recebe uma codificação, é registrada juntamente com sua repetição encontrada

nas linhas da matriz. O início da compressão coincide com o início do posicionamento das células da matriz e procede até o término de cada linha. O quadro abaixo (Figura 9) mostra esta estrutura básica de compressão, que pode ser de grande porte (número de unidades de armazenamento dezenas de vezes menor) para planos de informação contendo entidades geograficamente dispersas. O armazenamento do código da classe e respectiva repetição pode ser feito em duas unidades de armazenamento (*bytes*). Maior número de *bytes* pode ser usado em outras formas de geração da compressão que não se restrinjam a cada linha, permitindo a continuação da contagem das repetições nas linhas seguintes.

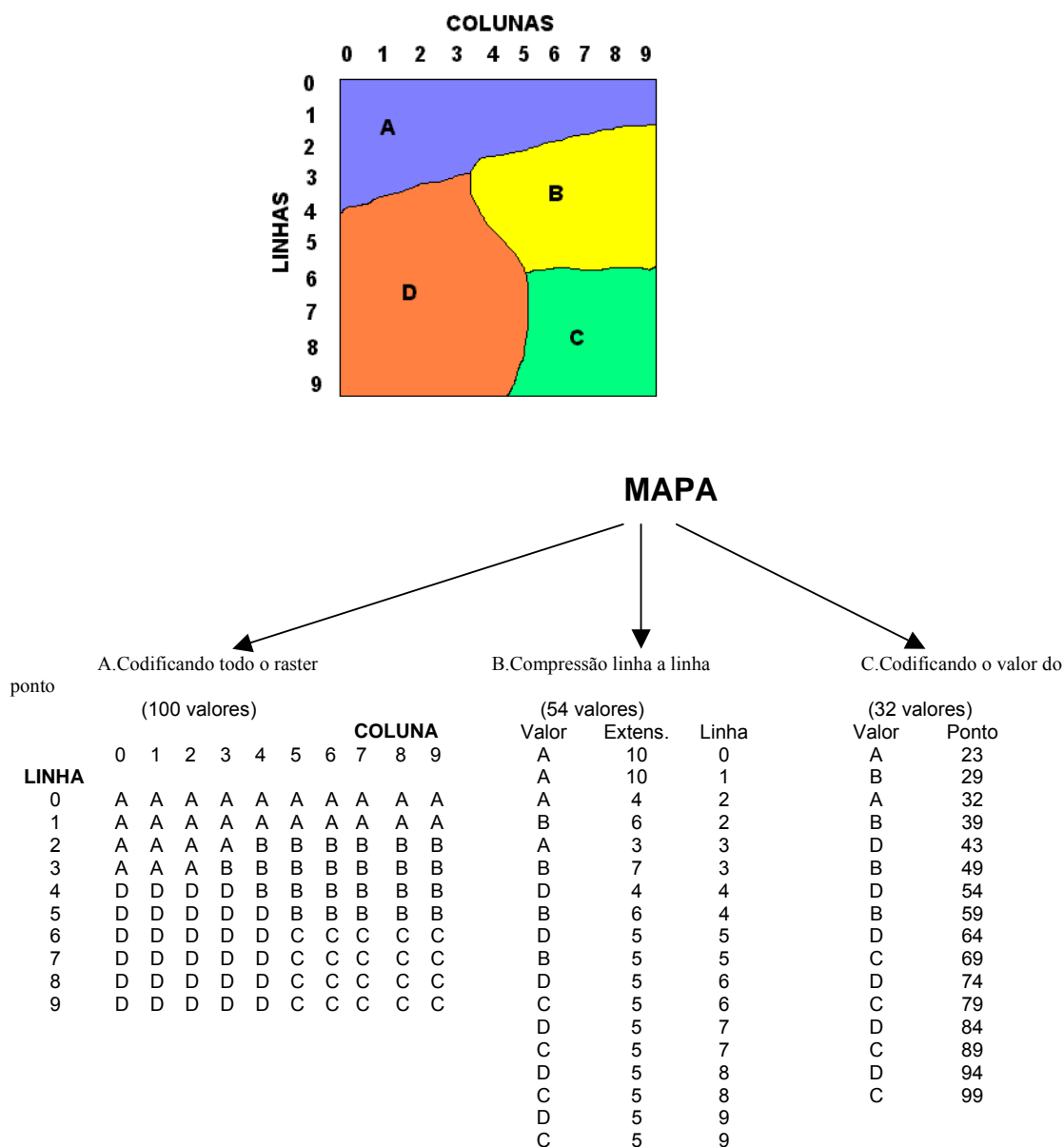


FIGURA 9 COMPACTAÇÃO DE DADOS DO TIPO RASTER

Fonte: ARONOFF (1989, p.169)

C. Árvores de quadrantes (*quadtrees*)

As árvores de quadrantes (*quadtrees*) podem ser definidas como estruturas hierárquicas de dados baseadas em sucessivas subdivisões de planos de informação em quadrantes. A Figura 10 mostra uma estrutura de *quadtree* (C) representativa de um plano de informação simples (A), o qual contém apenas duas classes, uma branca e outra sombreada, e pode ser decomposto em uma estrutura numérica (B) que permite a identificação de posições de células, a varredura integral do plano de informação (ordenação de *Morton*, na qual a numeração segue uma trajetória de Z invertido, para os sucessivos níveis de detalhamento) e eficiência nas análises que envolvam adjacências.

Com o uso de *quadtrees* (Figura 10C) há, em princípio, uma vantagem básica de economia de memória para armazenamento, em comparação com as estruturas matriciais não compactadas. Isto é particularmente válido para planos de informação que apresentem vastas áreas uniformes. Tal vantagem não é evidente, sendo por vezes escassa ou inexistente, para planos de informação que contenham numerosos e diversificados polígonos a serem representados. Tal abundância e diversidade obriga a estrutura em árvore de quadrantes a conter numerosos níveis de detalhamento, o que pode pesar no tempo necessário às atualizações e outras alterações das bases de dados (rotações, mudanças de escala), e também causar delongas na exibição dos mapeamentos digitais.

0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

A) Estrutura Binária

13	14	15	21		22
11	12				
9		10	18	19	20
			16	17	
1			6	7	8
			4	5	
			2		3

B) Varredura por blocos em "Z"

C) Árvore de Quadrantes

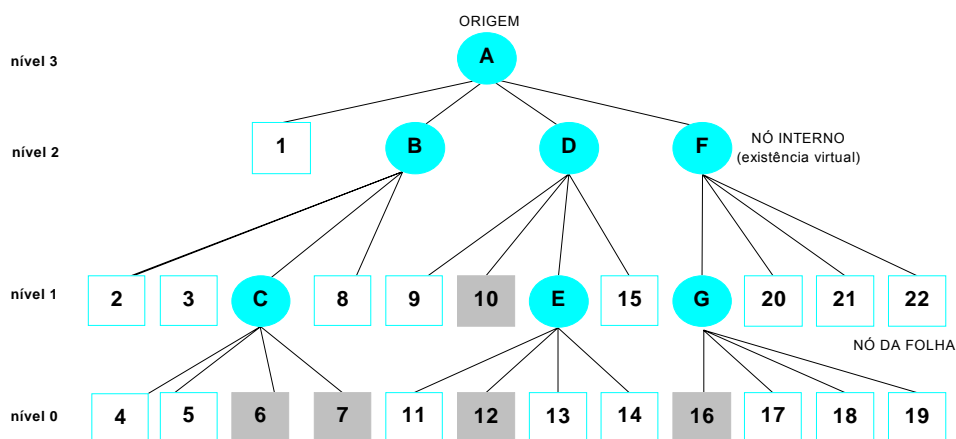


FIGURA 10

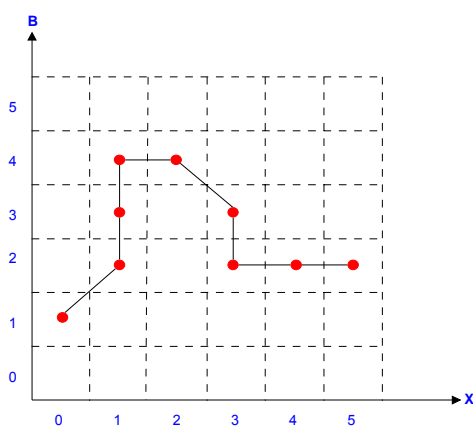
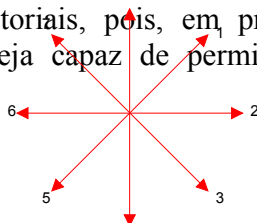
Fonte: BONHAM-CARTER (1996, p.59)

D. A representação de poligonais em estruturas matriciais

Um dos clássicos problemas em estruturas matriciais é a representação de entidades ambientais que se manifestem, cartograficamente, como poligonais (abertas ou fechadas). Nos *rasters*, tais lineações (assim como os pontos), em princípio, podem ser consideradas casos particulares de colapso de áreas, que ficaram restritas a linhas representadas por células com algum tipo de adjacência (lado ou vértice). Isto significa que, via de regra, são usadas unidades de discretização do plano para representá-las. Para entidades ambientais como rios e estradas isto pode representar apenas um exagero na representação digital da entidade, que passa a ter uma ou várias de suas dimensões fora de escala, principalmente se o mapa digital não estiver com sua resolução inteiramente compatível com a escala cartográfica adotada. O mesmo não acontece com lineações que tenham somente existência virtual, como são as fronteiras políticas e os limites administrativos, em geral. Neste caso as linhas virtuais passam a ocupar espaço na matriz de dados. Este problema tem sido minimizado a níveis de quase insignificância pela adoção de resoluções suficientemente detalhadas para as estruturas de armazenamento matriciais (GORE, 1998).

Uma estrutura intermediária entre vetores e células é a denominada *codificação de Freeman* (BONHAM-CARTER, 1996), exemplificada na Figura 11. Associando números (de 0 até 7) aos oito pontos colaterais da rosa dos ventos, esta estruturação permite que trajetórias (ou seja, lineações) sejam traçadas a partir de uma origem arbitrária identificada

Como conclusão a este tema, pode-se afirmar que combinações de estruturas de compressão, compactação e representação codificada de lineações ambientais podem ser tentadas. É importante que sejam mantidas as estruturas originais de captura, geralmente sob a forma matricial plena, até mesmo para a criação de inovações de uso da base de dados. Na realidade, é sempre aconselhável o uso intercambiado de diversas estruturas de armazenamento, inclusive as vetoriais, pois, em princípio, não há uma única destas estruturas que, singularmente, seja capaz de permitir o equacionamento de todos os problemas ambientais.



DESLOCAMENTO	X	Y	CÓDIGO
INÍCIO	0	1	-
1	1	2	1
2	1	3	0
3	1	4	0
4	2	4	2
5	3	3	3
6	3	2	4
7	4	2	2
8	5	2	2

CODIFICAÇÃO DE FREEMAN

7.2. PRINCIPAIS TIPOS DE ESTRUTURAS VETORIAIS

O modo vetorial de representação de entidades ambientais pode ser entendido como aquele em que os limites das áreas de polígonos são representadas por seqüências de pontos, cada ponto sendo um par de coordenadas espaciais. Esta definição da construção de uma representação vetorial realça talvez a diferença principal entre as estruturas raster e vetorial: a primeira enumera unidades discretas de terreno para identificar um objeto (as células definidas pela resolução adotada) e contém uma topologia implícita, enquanto que a

segunda define os limites dos objetos, o que exige, para o seu Geoprocessamento, a definição de suas propriedades espaciais tais como conexão, proximidade, contigüidade e pertinência.

A. A estrutura *spaghetti*

Considerada a possibilidade de identificar entidades ambientais pela criação de gráficos digitais compostos, essencialmente, por seqüências de pares de coordenadas cartesianas, a estrutura mais imediata que se pode imaginar é a estrutura conhecida como *spaghetti*, por ser construída de forma fragmentária, com as seqüências de coordenadas podendo ser consideradas isoladamente, porém sendo capturadas de forma associada aos pontos, linhas e áreas definidoras da geometria das entidades ambientais. Um ponto é um par de coordenadas, uma seqüência de pares de coordenadas, sem duplicações, representa uma linha, e uma seqüência de pares de coordenadas com o último par repetindo o primeiro representa uma poligonal fechada representativa da periferia de uma área (vide Figura 12).

A precisão da representação da geometria das entidades ambientais, nesta estrutura, depende da quantidade de pontos de inflexão (vértices) que venha a ser criada para representar linhas, e da exatidão com que tenham sido executadas as medições cartográficas geradoras do mapeamento considerado. Na estrutura "spaghetti", o próprio espaço cartesiano criado para o registro das entidades ambientais pode ser usado para análises e medições em geral. É mais comum, entretanto, primeiramente ser feita a transposição das coordenadas cartesianas para um sistema geográfico de referência, como a rede decimal UTM ou o próprio sistema angular das coordenadas geográficas.

Esta estrutura de dados representa cada entidade isoladamente. De uma certa forma, pode ser entendida como o produto de um desenho cartográfico feito com uso de computação. Ela constituiu a base para a criação de procedimentos, hoje muito avançados e dela distantes, do chamado CAD (*Computer Aided Design*). A adoção da estrutura *spaghetti* implica, via de regra, em dupla digitalização de linhas comuns entre polígonos e, o que é mais importante, não exigindo que haja recobrimento e identificação de toda a área geográfica considerada ("fundo" do mapa), torna precária e dependente de análises posteriores a definição de relações espaciais entre as entidades representadas. Seu uso desavisado em levantamentos cartográficos pode gerar sérios problemas, tais como a repetição da digitalização e/ou uso de programas definidores, *a posteriori*, destas relações, os quais podem induzir erros sistemáticos de identificação destas mesmas relações, que não são trivialmente constatáveis por Geoprocessamento. Cabe afirmar, entretanto, que o uso desta estrutura, embora problemático, é eficiente na reprodução digital de mapas, por conter apenas informação pertinente ao próprio processo de reprodução cartográfica, em sentido estrito (PEUQUET, 1984, in ARONOFF, 1989 - p.174).

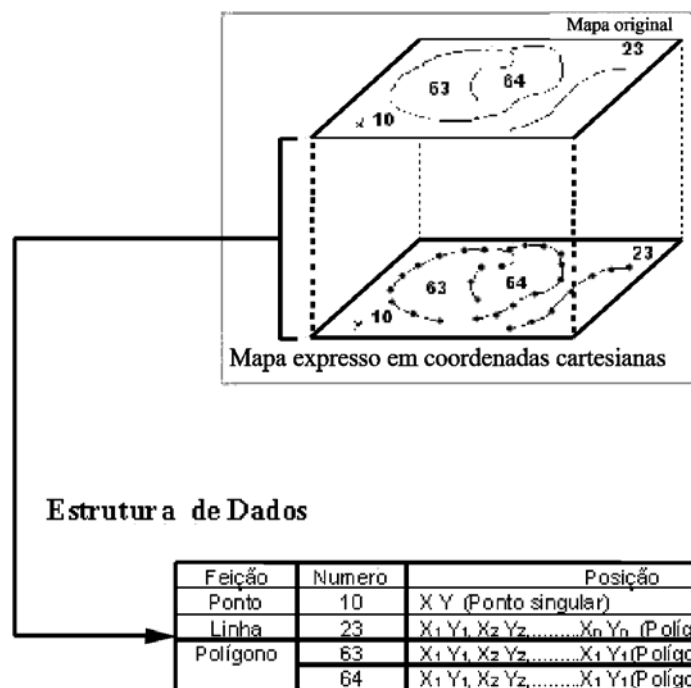


FIGURA 12

ESTRUTURA SPAGHETTI

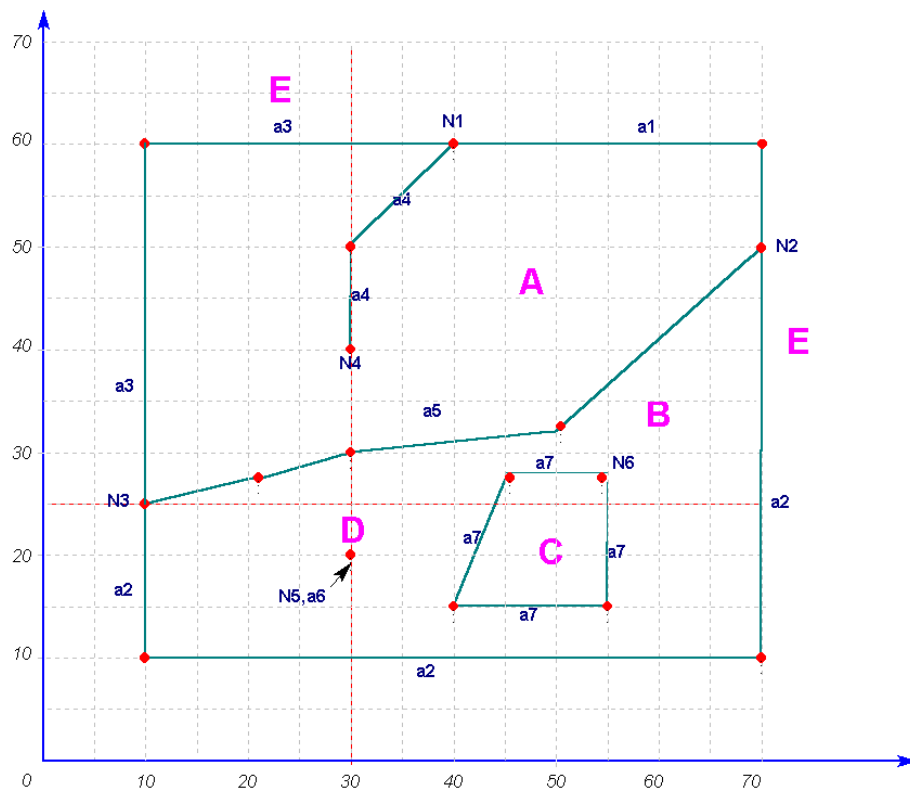
Fonte: ARONOFF (1989, p.174)

B. O modelo topológico

Os Sistemas Geográficos de Informação têm, como suas mais importantes características, propiciar a *integração de dados* e a *geração da informação*. Para conseguir tais intentos tem que levar em conta não apenas a localização e extensão das entidades representadas, mas também relações espaciais existentes entre elas. Estas relações são denominadas *topológicas*, pois se referem às posições relativas das entidades cartografadas digitalmente. Estas relações são mantidas sob algumas transformações geométricas, isto é, aquelas que não alteram o posicionamento recíproco das entidades representadas (são exemplos a rotação, as translações e as variações de escala).

As entidades básicas usadas nos modelos topológicos são os *pontos de inflexão*, os *nós* (pontos de encontro de dois ou mais arcos, ponto inicial ou final de um arco isolado, ou ponto identificador de uma posição singular), e os *arcos* (constituídos por poligonais contidas entre nós). Um conjunto de arcos que retorne a um ponto inicial compõe um

polígono. (As definições e convenções aqui apresentadas podem variar entre os diversos



programas que utilizam estruturas topológicas). Estes dados são estruturados em tabelas específicas e interrelacionadas, conforme pode ser visto na Figura 13, muito ilustrativa da estrutura topológica e originada de ARONOFF (1989).

CODIFICAÇÃO DE DADOS ESPACIAIS

Topologia dos polígonos	
Polígono	Arco
A	a1,a5,a3
B	a2,a5,0,a6,0,a7
C	a7
D	a6
E	área externa

Topologia dos Nós	
Nó	Arco
N1	a1, a3, a4
N2	a1, a2, a5
N3	a2, a3, a5
N4	a4
N5	a6
N6	a7

Topologia de arcos			
Nó		Polígono	
Inicial	Final	Esquerdo	Direito
N1	N2	E	A
N2	N3	E	B
N3	N1	E	A
N4	N1		A
N3	N2	A	B
N5	N5	B	B
N6	N6	B	C

Dados da coordenada de arcos			
Arco	X,Y		
	Início	Intermediário	Final
a1	40, 60	70, 60	70, 50
a2	70, 50	70, 10; 10, 10	10, 25
a3	10, 25	10, 60	40, 60
a4	40, 60	30, 50	30, 40
a5	10, 25	20, 27; 30, 30; 50, 32	70, 50
a6	30, 20		30, 20
a7	55, 27	55, 15; 40, 15; 45, 27	55, 27

A criação deste tipo de modelo adota uma série de convenções, entre as quais salientam-se a geração dos arcos no sentido do deslocamento dos ponteiros dos relógios e a identificação dos polígonos que estejam à direita ou à esquerda dos arcos gerados. Certas relações são constatáveis pela simples consulta às tabelas topológicas. Por exemplo, na *tabela dos arcos*, a definição dos polígonos adjacentes a um outro polígono pode ser feita pela inspeção dos polígonos listados à direita ou à esquerda de cada arco. Na Figura 13 pode-se verificar que são adjacentes ao polígono B: os polígonos A e E; o polígono C - contido no interior do polígono B - e o ponto D, também considerado um polígono, e que tem, por convenção, o polígono B à sua esquerda e à sua direita. Uma inspeção da tabela dos arcos da Figura 13 leva à identificação destes mesmos polígonos adjacentes ao polígono B, por serem situados na mesma linha referente a um arco.

Outro exemplo de informação imediata é a consulta à *tabela de polígonos* da mesma figura, onde são antecedidos por um 0 (zero) os arcos delimitadores de entidades situadas no interior do polígono considerado. No exemplo, o polígono B tem como entidades interiores os polígonos D (ponto) e C, associados, respectivamente, aos arcos a6 e a7, ambos precedidos de um 0 na listagem dos arcos associados ao polígono B.

A ponte entre a estrutura topológica, com suas entidades gráfico-digitais, e o mundo real, com suas entidades ambientais julgadas relevantes, pode ser feita pela consulta às tabelas do modelo topológico. Um ponto é um polígono de um arco, um nó e que tem o mesmo polígono como adjacente à esquerda e à direita (polígono D). Uma lineação é um arco com o mesmo polígono adjacente (a4) e uma área é um polígono (B, C, A e E - esta última constituindo o "fundo" do mapa e não apresentando arcos). Uma vez associadas as coordenadas dos vértices ao referencial de localização escolhido (georreferenciamento), as quais constam da *tabela de coordenadas dos arcos*, é possível identificar os pontos, linhas e áreas julgados relevantes para retratar as entidades ambientais de interesse. Como já foi comentado anteriormente, são estas as entidades geométricas necessárias para identificar entidades em um espaço bi-dimensional, para análise e associação imediata com bancos de dados convencionais que contenham informação relativa a atributos não espaciais destas entidades (vide Figura 6). Esta associação será comentada adiante, quando for apresentada a denominada estrutura relacional.

O uso de modelos topológicos apresenta como vantagem principal a possibilidade de análise de muitos aspectos da topologia da base de dados, sem recurso aos cálculos obrigatórios de estruturas mais simples, como a *spaghetti*. Adjacências (proximidades, contigüidades), conexões (conectividade, trajetórias) são exemplos de aspectos topológicos que podem ser analisados a partir das tabelas constituintes do modelo topológico (ARONOFF, 1989 - pp.176 e 220-225). Entretanto, uma das dificuldades contidas nesta estrutura é a necessidade premente de atualização das tabelas todas as vezes que houver a identificação de novas unidades gráficas (pontos, linhas ou polígonos).

Em uma situação de investigação ambiental (em contraste com o uso de uma base de dados para fins de gestão territorial) é freqüente a criação de novas entidades gráficas, até mesmo em caráter experimental, para fins de testes de hipóteses. As necessidades de

constante reformulação de tabelas, neste caso, podem se tornar um sério percalço. Em particular, tornam-se imprescindíveis numerosas operações de atualização, especialmente críticas e onerosas em termos de tempo e recursos computacionais, quando as entidades ambientais identificadas na estrutura topológica estão associadas a entidades registradas em bancos de dados convencionais, para identificação e análise de seus atributos ditos não espaciais. Neste caso, todo o banco de dados também terá que ser atualizado, em coerência com modificações na base de dados topológica (vide Figura 14).

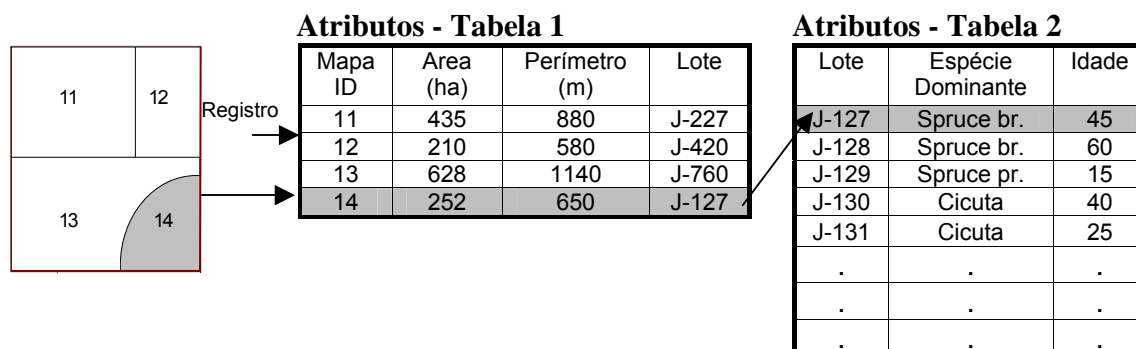


FIGURA 14 **BANCOS DE DADOS E ESTRUTURA TOPOLÓGICA**

Fonte: ARONOFF (1989, p.160)

Outra dificuldade imposta pelo uso de modelos topológicos está na própria construção da base de dados georreferenciados. Este tema já foi abordado anteriormente, mas a apresentação das tabelas topológicas, feita acima, permite aquilatar a magnitude da dependência da integridade da base de dados quanto ao processo de entrada de dados. No modelo topológico, uma vez que as relações de adjacência de polígonos, a rotulação e orientação da construção de nós e arcos são tarefas dependentes do processo de digitalização, normalmente conduzido diretamente pela ação identificadora humana, não são desprezíveis as possibilidades de criação de sérias incongruências e mesmo a geração de forte instabilidade na sua base de dados georreferenciados.

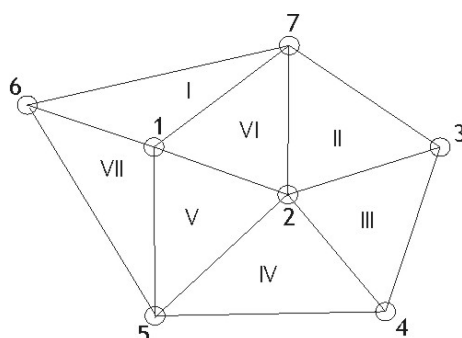
C. Redes irregulares de triangulação

Conhecida como TIN (*Triangular Irregular Network*), esta estruturação de dados pode ser considerada um caso particular de estrutura topológica, que permite o cômputo eficiente de algumas características relevantes da superfície do terreno, tais como declividades, direção de exposição de encostas, servindo também para identificar descontinuidades topográficas tais como rios, cristas e bordas de planaltos. Sua construção pode se originar da junção de trios de pontos cotados irregularmente distribuídos, constituindo uma rede de triângulos justapostos. Valores de x (longitudes), y (latitudes) definem a posição dos vértices dos triângulos. A estes triângulos pode ser associada uma cota z (não necessariamente uma altitude). Ficam assim criados os elementos topológicos básicos desta estrutura, que são os *triângulos* e os *nós*, podendo ser criadas tabelas de *coordenadas dos nós* e da *topologia dos triângulos*, esta última contendo as identificações

dos triângulos, com seus respectivos nós constituintes e triângulos adjacentes (vide Figura 15). Uma vez que, em termos geométricos, três pontos não colineares determinam a posição de um plano e definem neste plano um triângulo, pode ser imaginada uma estrutura topológica que defina uma superfície irregular por uma composição de triângulos de tamanho variável, definidos em um espaço cartesiano pelas coordenadas de seus vértices.

Se o tamanho destes triângulos variar com a variabilidade da característica ambiental retratada (a altitude é o exemplo imediato), sendo os triângulos pequenos e numerosos em locais de alta variabilidade; se as localizações dos três vértices (*nós*) forem escolhidas de forma a preservar uma certa uniformidade da característica ao longo da extensão territorial dos triângulos e, ainda, se forem posicionados os nós de forma a reproduzirem alinhamentos que representem descontinuidades da característica ambiental considerada, será gerada uma superfície que reproduzirá, com resolução variável, sob a forma de patamares, o comportamento espacial da característica em estudo.

A estrutura TIN pode ser gerada pela denominada *triangulação de Delaunay* (MCCULLAGH e ROSS, 1980 e AUERHAMMER, 1991). Seu uso requer menos memória para armazenamento e nela também as investigações topológicas de conectividade e adjacência podem ser conduzidas eficientemente (BONHAM-CARTER, 1996; ARONOFF, 1989).



COORDENADA DOS NÓS		
Nós	X	Y
1	.	.
2	.	.
3	.	.
4	.	.
5	.	.
6	.	.
7	.	.

TOPOLOGIA DOS TRIÂNGULOS		
Triângulo	Nó	Triângulo Adjacente
I	1,6,7	VII,E,VI
II	2,7,3	VI,E,III
III	2,3,4	II,E,IV
IV	2,4,5	III,E,IV
V	5,1,2	VII,VI,IV
VI	1,7,2	I,II,V
VII	6,1,5	E,I,V

E= EXTERIOR

FIGURA 15

REDE DE TRIANGULAÇÃO

Fonte: BONHAM-CARTER (1996, p.79)

7.3. O MODELO RELACIONAL: ALGUMAS IMPLICAÇÕES DE SEU USO

O problema da associação entre a representação gráfico-digital de entidades ambientais e seus correspondentes atributos não espaciais tem sido abordado de diversas maneiras. Em princípio, com as devidas ressalvas quanto aos respectivos potenciais de atendimento às finalidades almejadas, é possível utilizar qualquer das estruturas clássicas de bancos de dados - hierárquica, em rede e relacional - para o estabelecimento da mencionada associação. A estrutura hierárquica poderia ser usada para situações em que as entidades ambientais apresentassem claras relações de inserção entre si. A estrutura em rede poderia ser empregada em situações em que as entidades apresentassem relações laterais, sem subordinações obrigatórias, mas necessárias em função de circuitos de trânsito da informação. Uma apresentação detalhada das possibilidades destas duas estruturas citadas transcende o escopo da presente texto. É sugerido ao leitor interessado nestes possíveis usos a consulta à vasta literatura sobre bancos de dados (DATE, 1976; STAIR, 1998) cabendo, entretanto, citações à apresentação feita por ARONOFF (1989, pp.155-164) e, principalmente, às considerações feitas por BURROUGH (1990, pp.16-19). Quanto ao modelo relacional a discussão a seguir baseia-se no texto de BONHAM-CARTER (1996) com aportes trazidos da vivência do autor e das outras fontes reconhecidas no texto.

O modelo relacional é uma estruturação de dados que consiste, essencialmente, na existência de *tabelas* de dupla entrada (por linhas e por colunas), relacionadas entre si (por isso são também denominadas *relações*), e que podem ser depuradas através da eliminação de repetições de dados (redundância), como parte de um procedimento denominado *normalização*, a ser apresentado adiante.

Cada linha das tabelas, denominada *tupla*, pode ser entendida como um conjunto de medições (instâncias) que definem cada entidade ambiental (ou sua correspondente entidade gráfico-digital) em uma tabela. Esta acepção guarda semelhança com as colunas da matriz geográfica. A atualização do banco de dados se faz com estas *tuplas*, transformando-as, adicionando-as e removendo-as das tabelas (relações).

As colunas das tabelas contêm os dados relativos a cada uma das características ambientais escolhidas quando da criação da tabela e são denominadas *campos*. Entre os campos podem ser selecionados alguns que servirão como elo de ligação entre as tabelas, recebendo a denominação de *campos identificadores* ou *campos-chave* (*keyfields*).

A Figura 16 mostra uma tabela de polígonos com os campos ainda não depurados, isto é, contendo redundância nos seus dados. O processo de normalização, que visa minimizar ou eliminar estas redundâncias, é composto de várias etapas, apresentadas a seguir, segundo BONHAM-CARTER (1996 pp.45-47).

O primeiro passo da normalização, se os atributos da entidade forem qualitativos (texto), consiste na associação de números às categorias de cada campo da tabela, conforme exposto na Figura 17. Cria-se, assim, um identificador numérico, mais conveniente que

uma cadeia (*string*) de caracteres alfabéticos quanto ao uso nas operações com os dados. Pode-se também constatar nesta tabela várias repetições de informação encontradas em diversos campos.

POLÍGONO (n°)	NOME DA FORMAÇÃO	LITOLOGIA	IDADE
1	Formação Shelly	Calcário	Pensilvânico
2	Formação Grit	Arenito	Pensilvânico
3	Formação Slab	Folhelho	Pensilvânico
4	Formação Mount	Granito	Cretácico
5	Formação Mount	Granito	Cretácico
6	Formação Volcano	Tufito	Triássico
7	Formação Mount	Granito	Cretácico
8	Formação Shelly	Calcário	Pensilvânico
9	Formação Slab	Folhelho	Pensilvânico
10	Formação Shelly	Calcário	Pensilvânico

FIGURA 16 **TABELA NÃO DEPURADA**
Fonte: BONHAM-CARTER (1996, p.45)

POLÍGONO (N°)	FORMAÇÃO (N°)	NOME	LITOLOGIA (N°)	LITOLOGIA	IDADE (N°)	IDADE
1	2	Formação Shelly	7	Calcário	5	Pensilvânico
2	3	Formação Grit	6	Arenito	5	Pensilvânico
3	4	Formação Slab	5	Folhelho	5	Pensilvânico
4	1	Formação Mount	2	Granito	8	Cretácico
5	1	Formação Mount	2	Granito	8	Cretácico
6	5	Formação Volcano	3	Tufito	7	Triássico
7	1	Formação Mount	2	Granito	8	Cretácico
8	2	Formação Shelly	7	Calcário	5	Pensilvânico
9	4	Formação Slab	5	Folhelho	5	Pensilvânico
10	2	Formação Shelly	7	Calcário	5	Pensilvânico

FIGURA 17 **TABELA DE ASSOCIAÇÃO COM MINERIOS**
Fonte: BONHAM-CARTER (1996, p.45)

A seguir inicia-se o processo de decomposição da tabela em outras tabelas referentes aos campos. A escolha da sucessão dos campos a serem decompostos deve ser feita segundo a capacidade de eliminação de redundância que cada campo possua, respeitando-se, assim, a importância relativa de cada um deles (possível frequência de necessidade de alteração e de solicitações de recuperação da informação). No decorrer desta fragmentação devem ser observadas:

- a dependência funcional dos campos não identificadores para com seu campo-chave (*keyfield*); e
- a independência entre os campos não identificadores.

As tabelas assim criadas podem ser modificadas (editadas) independentemente, isto é, sem necessidade de alterações de diversos campos cada vez que uma modificação é executada em uma delas. Esta característica do banco de dados, obtida pela normalização, é de óbvio interesse para a facilidade e segurança do processo de atualização.

A. Relação POLÍGONO

NÚMERO	FORMAÇÃO
1	2
2	3
3	4
4	1
5	1
6	5
7	1
8	2
9	4
10	2

B. Relação FORMAÇÃO

NÚMERO	NOME	LITOLOGIA	IDADE
1	Formação Mount	2	8
2	Formação Shelly	7	5
3	Formação Grit	6	5
4	Formação Slab	5	5
5	Formação Volcano	3	7

C. Relação LITOLOGIA

NÚMERO	TIPO
2	Granito
3	Tufito
5	Folhelho
6	Arenito
7	Calcário

D. Relação IDADE

NÚMERO	TIPO
5	Pensilvânico
7	Triássico
8	Cretácico

FIGURA 18**TABELA (RELAÇÕES) DECOMPOSTAS**

Fonte: BONHAM-CARTER (1996, p.47)

A Figura 18 mostra uma decomposição efetuada sobre a Figura 16. As seguintes observações podem ser feitas quanto às tabelas apresentadas:

- existem identificadores numéricos para todos os campos;
- estes identificadores numéricos são os elementos usados para as referências cruzadas entre as tabelas;
- as modificações em uma tabela não necessariamente repercutem em todas as outras. Esta decomposição visa exatamente minimizar a repercussão de uma alteração em um tabela sobre as constituições da outras tabelas.

Uma comparação entre as tabelas 17 e 19 permite ver que a Formação Mount mudou sua identificação litológica, deixando de ser Granito (Tabela 17) e passando a ser Gabro (tabela 19). Neste caso, a criação de uma nova classe de litologia (gabro, com número identificador 4), além de ser, obviamente, uma modificação na *tabela de litologias*, causou modificação na *tabela de formações geológicas*, com mudança do número identificador da litologia associada à formação geológica denominada *Mount* (o número identificador deixou de ser 2, referente a granito, e passou a ser 4, referente a gabro, conforme mostra a figura 20. Esta modificação, entretanto, não afetará a *tabela de polígonos*, que se referencia apenas à *tabela de formações geológicas*, cujas entidades continuarão a ser referenciadas pelos mesmos números vigentes antes da atualização. Lembrando que a *tabela de polígonos* pode ser composta por milhares de entidades (os polígonos de números 4, 5, e 7 continuam

relacionados a formação1), pode ser imaginada a economia de esforço causada pela eliminação da necessidade de nela executar numerosas alterações, causadas pela introdução de uma nova litologia na outra tabela;

- a montagem de um banco de dados a ser associado a uma base de dados georreferenciada exige investigação das relações de inserção e dependência existentes entre as entidades e atributos ambientais a serem considerados. Esta não é uma atividade trivial e requer, além dos conhecimentos específicos de linguagens de programação e consulta a bancos de dados, sólidos conhecimentos e capacidade de reflexão sobre a natureza de entidades ambientais e seus atributos.

Com relação à normalização, BONHAM-CARTER (1996, pp.47-48) afirma que deve haver um julgamento dos dispêndios e benefícios advindos. Textualmente afirma:

"Para bases de dados grandes, complexas e em constante atualização, a forma normalizada é desejável, em função do fácil entendimento do modelo de dados e da edição. Para bases de dados menores, particularmente aquelas estáveis e não mais sendo expandidas, a normalização é menos desejável".

POLÍGONO (N°)	FORMAÇÃO (N)	NOME DA FORMAÇÃO	LITOLOGIA (N°)	LITOLOGIA	IDADE (N°)	IDADE
1	2	Formação Shelly	7	Calcário	5	Pensilvânico
2	3	Formação Grit	6	Arenito	5	Pensilvânico
3	4	Formação Slab	5	Folhelho	5	Pensilvânico
4	1	Formação Mount	4	Gabro	8	Cretácico
5	1	Formação Mount	4	Gabro	8	Cretácico
6	5	Formação Volcano	3	Tufito	7	Triássico
7	1	Formação Mount	4	Gabro	8	Cretácico
8	2	Formação Shelly	7	Calcário	5	Pensilvânico
9	4	Formação Slab	5	Folhelho	5	Pensilvânico
10	2	Formação Shelly	7	Calcário	5	Pensilvânico

FIGURA 19 TABELA COM MODIFICAÇÃO DE LITOLOGIA

Fonte: BONHAM-CARTER (1996, p.48)

Relação FORMAÇÃO (1 modificação mostrada em negrito e itálico)				Relação LITOLOGIA (1 inserção mostrada em negrito e itálico)	
FORMAÇÃO (N°)	NOME DA FORMAÇÃO	LITOLOGIA (N°)	IDADE (N°)	LITOLOGIA (N°)	LITOLOGIA
1	Formação Mount	4	8	2	Granito
2	Formação Shelly	7	5	3	Tufito
3	Formação Grit	6	5	4	Gabbro
4	Formação Slab	5	5	5	Folhelho
5	Formação Volcano	3	7	6	Arenito
				7	Calcário

FIGURA 20 TABELA QUE SOFRERAM ALTERAÇÃO

Fonte: BONHAM-CARTER (1996, p.48)

Operações matemáticas e as regras da lógica booleana podem ser aplicadas a bases de dados que usem estruturas relacionais. Isto confere grande flexibilidade de busca da informação simples ou complexa. Em particular, é possível fazer a extração seletiva e combinada de dados que caracterizem uma determinada situação ambiental (loais propícios a desmoronamentos, pela ocorrência de certas características topográficas, litológicas e de cobertura vegetal, por exemplo), a qual poderá, posteriormente, ter sua ocorrência territorial identificada em uma base de dados georreferenciada, na qual os polígonos registrados estejam aferidos ao banco de dados.

As bases de dados relacionais possuem flexibilidade porque qualquer campo comum pode ser usado como campo-chave para relacionamentos entre tabelas e a obtenção de informação relativa a qualquer campo é imediata, mediante consulta praticamente direta à tabela que o contém. Entretanto, a obtenção de informação complexa, oriunda da combinação de campos, pode demandar exaustivos cotejos de valores contidos em diversas tabelas, tendendo a tornar o processamento bastante lento. Tentativas de superação deste problema tem sido feitas através da criação de *linguagens de consulta* (*query languages*), as quais, sendo de fácil aprendizagem e manuseio, e apoiando-se na flexibilidade da estrutura relacional, têm se tornado de uso bastante difundido (ARONOFF, 1989, p.162).

A criação de tabelas de relacionamento entre atributos e entidades espaciais identificáveis na base de dados georreferenciada é uma poderosa estrutura de análise. Qualquer combinação executada na tabela, tais como adições de novos campos derivados dos existentes, transferência dos dados para programas que executem operações estatísticas nos valores assumidos pelas variáveis (médias, variâncias, regressões, identificação de resíduos pontuais, entre outras), podem ser efetuadas e posteriormente transferidas para a base de dados, que expressará a distribuição territorial dos novos campos derivados. É preciso notar que a identificação da extensão, forma, contigüidades e outras relações espaciais, neste caso, não são consideradas nos tratamentos executados na tabela contida no banco de dados convencional.

Quando aplicado sobre mapeamentos de avaliação ambiental, esta investigação externa de possíveis combinações lógicas e estatísticas de variáveis pode permitir a extração de relevante informação ambiental, ao serem relançados sobre o território os resultados do tratamento identificador executados externamente ao *SGI*. Merece menção a simplicidade de tratamento de situações complexas, como, por exemplo, a definição do aumento da probabilidade de ocorrência de um surto epidêmico em um determinado sentido (acompanhando ou simulando o deslocamento de emigrantes ou favelados, por exemplo). A revelação desta tendência, feita após a avaliação inicial do risco epidêmico e considerando as unidades territoriais (setores censitários, por exemplo) referenciadas pelo banco de dados convencional no processo de acompanhamento ou simulação, permite ilações causais, previsões e a indicação da necessidade de aprofundamentos da investigação das relações identificadas entre as variáveis ambientais envolvidas no processo epidêmico acompanhado ou simulado (XAVIER-DA-SILVA, J. et al, 1998)

INVENTÁRIOS AMBIENTAIS: DADOS, METADADOS E METABASES

Este tema será abordado, a seguir, de uma maneira que poderá parecer, para alguns, uma forma disfarçada de telurismo delirante. Outros perceberão, porém, que se trata de uma modesta contribuição para tornar operacional o decantado mote "pense globalmente, aja localmente". Como muitos dos conceitos a serem abordados se referem a novas perspectivas de utilização de dados ambientais, algumas concretizadas em iniciativas como a Internet, outras em gestação, como a "Digital Earth" (GORE, 1998), é necessário situar o leitor quanto às posições propaladas no texto.

O homem se percebe como um ente vivendo dentro de duas dimensões básicas, o tempo e o espaço. A natureza intrínseca destas dimensões é desconhecida, mas o homem constantemente cria dicotomias nelas baseadas, tentando compreender a realidade. Amostragens sequenciais e espaciais, processos e sistemas, História e Geografia são exemplos destas contraposições. O importante, na presente análise, é que a partir da constatação do desconhecimento da natureza final das dimensões tempo e espaço, pragmaticamente foram criados os padrões de identificação e medida com os quais são registradas as ocorrências de fenômenos, como parte do razoável esforço de identificar outras entidades externas ao ser humano, conforme preconizado pelo cartesianismo. Em consequência da criação destes padrões foi introduzido um relacionamento dialético entre o homem e a realidade por ele percebida. As medidas, o metro, as métricas, as escalas de medição, com suas imperfeições, medeiam este relacionamento mutante, que é precário porque baseado em medidas necessariamente inexatas que discretizam o contínuo espaço e tempo.

Não cabem tergiversações sobre este relacionamento homem x realidade percebida. É uma situação inescapável: os dados são a matéria prima de nossas construções lógicas ou ilógicas. Estas percepções inexatas, estes registros de ocorrências, ou seja, estes dados, são o fundamento material das ilações humanas, a serem construídas com base em nossa capacidade de percepção, a qual tem notórias limitações qualitativas e quantitativas. A computação eletrônica, e o Geoprocessamento em relação aos problemas ambientais, são instrumentos de superação de algumas destas deficiências. Visões sinópticas e inspeções detalhadas de situações ambientais tornaram-se possíveis em função desses novos instrumentos que, no entanto, dependem diretamente dos registros de ocorrência efetuados. Em consequência, cumpre tratar os dados como vínculos com a realidade, uma vez que são os elementos que permitem construir explicações para qualquer constatação efetuada.

Como são numerosos e diversificados, os dados ambientais - objeto fundamental das manipulações do Geoprocessamento - precisam ser organizados e colocados em perspectiva adequada quanto a sua temporalidade e, principalmente, quanto a sua territorialidade. Em itens anteriores deste texto foram abordados temas que se referem, exatamente, a tentativas de organização e pesquisa de dados ambientais. Mesmo a simples leitura destes textos permite depreender que não se trata de um problema trivial de organização e métodos, ou de programação. Está em andamento um envolvimento formidável de recursos humanos e computacionais na análise e implantação de novas formas de relacionamento humano com os dados, que por sua vez nos ligam à realidade ambiental.

Entendida uma base de dados georreferenciados, operacionalmente, como uma coleção de arquivos interrelacionados e, conceitualmente, como um modelo digital de um ambiente, o problema acima delineado pode ser formulado mais especificamente: como sistematizar a busca por conhecimentos ambientais usando a capacidade analítica tornada disponível pelo acelerado crescimento das tecnologias de processamento de dados? Deve-se continuar desenvolvendo métodos e técnicas simbioticamente atrelados a específicos sistemas de gestão de dados, equipamentos, bases de dados ou tipos de arquivos? É possível imaginar metodologias que funcionem independentemente destes atrelamentos? Os dados ambientais, que estão no início e compõem o fim do raciocínio humano, continuarão, no âmbito do Geoprocessamento, a ser metodicamente tratados como entidades a serem forçadas a um comportamento específico através de modelagens constrangedoras? Ou deverão ser mantidos íntegros em suas especificidades, armazenados em uma estrutura que permita sua livre utilização? Pensando em escala global, como conseguir, em relação aos dados ambientais, ser suficientemente geral e consistentemente local?

As questões acima formuladas não têm respostas simples ou totalmente disponíveis. Soluções parciais estão sendo tentadas para o problema do relacionamento humano com os dados. Entre elas merecem destaque algumas ligadas aos conceitos de metadados e metabases (ALMEIDA, 1999), por serem relacionadas tanto à utilização local quanto ao acesso remoto a informação ambiental.

Uma imagem fundamental que pode ser formulada atualmente se refere ao acesso a uma base georreferenciada de dados ambientais de âmbito planetário. Um estrutura gigantesca de integração dos dados ambientais disponíveis, de acesso livre, permitindo extração da informação ambiental segundo os variados interesses que se manifestem, pode ser idealizada, em princípio, pelos seguintes passos esquemáticos de operacionalização:

A - Definição das unidades de mapeamento do Sistema Cartográfico Internacional como objetos básicos de aglutinação dos dados ambientais, observando a hierarquia expressa pela progressiva inserção das folhas cartográficas daquele sistema, feita segundo escalas previamente definidas. É aceito, em geral, que estas escalas são: 1:1.000; 1:2.000; 1:5.000; 1:10.000; 1:25.000; 1:50.000; 1:100.000; 1:250.000; 1:500.000 e 1:1.000.000. Estas folhas integram a superfície terrestre segundo projeções cartográficas e cortes articuláveis, tornando possível a recuperação de dados ambientais segundo a localização e extensão de ocorrência da informação geográfica.

B - Criação de bancos de dados de hipermidia orientados a objeto, tendo como entidades básicas as unidades cartográficas acima mencionadas. Imagens, mapeamentos, diagramas, tabelas e textos poderão ser armazenados segundo estas unidades. Os conteúdos e as relações destes objetos deverão ser hierarquizados segundo as escalas geográficas, generalizando-se progressivamente com a diminuição da escala. Torna-se assim possível, inicialmente, a recuperação da informação armazenada segundo instâncias de ocorrência de entidades e atributos. Idealmente poderão ser também executadas, posteriormente, extrações seletivas e combinadas segundo os diferentes níveis de generalização adotados, mas a estruturação complexa das bases de dados que é necessária para a concretização de consultas deste tipo ainda não existe, havendo ainda relevantes dificuldades conceituais

(GOODCHILD, EGENHOFER e FEGEAS, 1997 - pgs.2,3).

C - Paulatinamente à criação de bancos de dados referentes a cada área geográfica poderão ser criados arquivos informativos sobre a natureza, a quantidade e relações relevantes dos objetos, ou seja, sobre cada folha do Sistema Cartográfico Internacional que abranja a área em questão. Trata-se, portanto, de criar uma estrutura de metadados (informação organizada sobre dados) que permita seleção prévia do interesse da eventual consulta sobre áreas geográficas, segundo diferentes escalas.

D - Poderão também ser criadas superestruturas de informação sobre a existência e qualificações de conjuntos de metadados classificados segundo um campo do conhecimento ambiental. Trata-se de usar o conceito de metabase para permitir o acesso à informação ambiental específica teoricamente ocorrente em toda a superfície terrestre. Estas metabases, também de criação paulatina, informarão sobre a extensão geográfica de sua cobertura, além das particularidades inerentes ao seu campo de conhecimento. No Brasil já estão sendo criadas estas superestruturas de informação ambiental a serem utilizadas a partir da rede planetária WWW. Um exemplo referente à cartografia geológica é apresentado a seguir, extraído de ALMEIDA, 1999a (vide também ALMEIDA, 1999b e 1999c).

Exemplo da METABASE BRISA

Acervo Bibliográfico da CPRM

Sumário:

I Identificação

II Referência

III Armazenamento e Acesso

IV - Distribuição

I. Identificação

1. Nome da Instituição: **CPRM - Serviço Geológico do Brasil**

2. Sigla da Instituição: **CPRM**

3. Vínculo da Instituição: **Ministério das Minas e Energia**

4. Título da Base de Dados: **Acervo Bibliográfico da CPRM**

5. Sigla da Base de Dados: **BIB1**

6. Informações sobre a Base de Dados.

6.1 Descrição.

6.1.1 Objetivo: **Disponibilizar informação sobre o acervo bibliográfico da CPRM, para consulta, aquisição e/ou empréstimo.**

6.1.2 Resumo: **Acervo Bibliográfico da CPRM**

6.1.3 Forma de Apresentação da Base de Dados: **Meio Digital**

6.2 Período de tempo representado na Base de Dados.

6.2.1 Data Inicial: **Ano de 1640**

6.2.2 Data Final: **Ano de 1998**

6.3 Estágio Atual da Base de Dados.

6.3.1 Frequência de atualização: **Mensal**

6.4 Cobertura Geográfica da Base de Dados.

6.4.1 Descrição da área coberta: **Nacional e Internacional**

6.5 Palavras-Chave.

6.5.1 Tema.

6.5.1.1 Tesauro do Tema:

6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Geotécnica**

6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Paleontologia**

6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Normas Técnicas**

6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Meteorologia**

- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Internacional**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Informática**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Hidrogeologia**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Recursos Energéticos**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Geoprocessamento**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Geologia Marinha**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Geologia Glacial**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Geologia**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Geofísica**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Hidrologia**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Processamento de Dados**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Química**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Recursos Humanos**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Tecnologia Mineral**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Economia Mineral**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Ecologia**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Comunicação**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Ciência da Informação**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Cartografia**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Biblioteconomia**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Administração**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Gemologia**
- 6.5.1.2 Palavras-Chave do Tema: **Qualidade**
- 6.5.2 Lugar:
 - 6.5.2.1 Tesouro de Lugar:
 - 6.5.2.2 Palavras-Chave de Lugar:
- 6.5.3 Período de Tempo:
 - 6.5.3.1 Palavras-Chave do Período de Tempo:
- 6.5.4 Código BCDAM:
 - 6.5.4.1 Palavras-Chave do BCDAM:
- 6.5.5 Código UNESCO:
 - 6.5.5.1 Palavras-Chave da UNESCO:
- 6.6 Confidencialidade da Base de Dados:
 - 6.6.1 Restrições ao Acesso: **Sem restrições desde que os dados sejam adquiridos da CPRM**
 - 6.6.2 Restrições ao Uso: **Condições de Responsabilidade:**
 - 1. Declara ter plena ciência de que o(s) produto(s) é (são) de autoria intelectual da CPRM.**
 - 2. Utilizará o(s) produto(s) apenas para seu próprio uso, sendo vedada a sua reprodução ou comercialização para terceiros, ficando obrigado(a) a dar os devidos créditos à CPRM quando de sua utilização para gerar novos produtos (§ 1º, do art. 39, da Lei nº 5.988/73).**
 - 3. A CPRM não se responsabiliza pelo uso impróprio ou incorreto do(s) produto(s), nem fica garantida, sob nenhuma hipótese, a utilidade ou acuracidade dos dados contidos no(s) produto(s), em outra plataforma que não aquela em que foi(foram) gerado(s).**
- 7. Contatos:
 - 7.1 Pessoa de Contato: **Tânia Freire**
 - 7.2 Endereço de Contato:
 - 7.2.1 Local: **Av. Pasteur, 404 - Urca**
 - 7.2.2 Cidade: **Rio de Janeiro**
 - 7.2.3 Estado: **RJ**
 - 7.2.4 Código Postal: **22.290-040**
 - 7.3 Endereço Internet: **<http://www.cprm.gov.br>**
 - 7.4 Telefone: **(021) 295-5997**
 - 7.5 Fax: **(021) 295-5897**
 - 7.6 E-mail: **seus@crystal.cprm.gov.br**

II. Referência da Metabase

- 1. Data de Geração: **30/06/98**
- 2. Responsável pela Geração:
 - 2.1 Instituição: **CPRM**

- 2.2 Pessoa de Contato: **Suely Borges da Silva Gouvêa**
2.3 Endereço de Contato:
2.3.1 Local: **Av. Pasteur, 404 - Urca**
2.3.2 Cidade: **Rio de Janeiro**
2.3.3 Estado: **RJ**
2.3.4 Código Postal: **22.290-040**
2.3.5 Endereço Internet: **<http://www.cprm.gov.br>**
2.3.6 Telefone: **(021) 295-4347**
2.3.7 Fax: **(021) 295-4947**
2.3.8 E-mail: **sbs@crystal.cprm.gov.br**
3. Nome do Padrão da Metabase: **BRISA - versão 1.0**
4. Data da revisão da Metabase: **Sem previsão**

III. Armazenamento e Acesso

1. Opções de Acesso

1.1 - Opção de Acesso I

- 1.1.1 Sistema Gerenciador de Banco de Dados: **MicroSir**
1.1.2 Modelo de Dados Utilizado: **Arquivos de Indexação de texto livre para acesso direto**
1.1.3 Tipo de Acesso: **Internet**
1.1.4 Mídia de Acesso: **Microcomputador com acesso à Internet**
1.1.5 Forma de Acesso: **Através do site da CPRM - <http://www.cprm.gov.br>, escolhendo-se a opção Bases de Dados, e, em seguida, [Acervo Bibliográfico da CPRM - BIBL](#)**
1.1.6 Pré-requisitos: **Computador com acesso à Internet**
1.1.7 Custo: **Sem custo**

1.2 - Opção de Acesso II

- 1.2.1 Sistema Gerenciador de Banco de Dados : **MicroSir**
1.2.2 Modelo de Dados Utilizado : **Arquivos de Indexação de texto livre para acesso direto**
1.2.3 Tipo de Acesso: **Microcomputador com o programa MicroSir instalado**
1.2.4 Mídia de Acesso: **CD-ROM**
1.2.5 Forma de Acesso: **Através do programa MicroSir da CPRM (obtenção através do SEUS)**
1.2.6 Pré-requisitos: **Programa MicroSir e um computador com unidade leitora de CD-ROM e sistema operacional Windows 95 ou superior**
1.2.7 Custo: **Informações com o SEUS**

1.3 - Opção de Acesso III

- 1.3.1 Sistema Gerenciador de Banco de Dados: **STAIRS - Storage and Information Retrieval System**
1.3.2 Modelo de Dados Utilizado: **Arquivos de Indexação de texto livre para acesso direto**
1.3.3 Tipo de Acesso: **Conexão Remota (TN3270)**
1.3.4 Mídia de Acesso: **Arquivo Digital, Relatório em Papel**
1.3.5 Forma de Acesso: **Via terminal do mainframe nas instalações da CPRM ou por solicitação ao SEUS - Serviço de Atendimento ao Usuário**
1.3.6 Pré-requisitos: **Consultar o SEUS**
1.3.7 Custo: **Temporariamente as pesquisas estão sendo fornecidas sem custo**

1.4 - Opção de Acesso IV

- 1.4.1 Sistema Gerenciador de Banco de Dados :
1.4.2 Modelo de Dados Utilizado :
1.4.3 Tipo de Acesso:
1.4.4 Mídia de Acesso:
1.4.5 Forma de Acesso:
1.4.6 Pré-requisitos:
1.4.7 Custo:

1.5 - Opção de Acesso V

- 1.5.1 Sistema Gerenciador de Banco de Dados :
1.5.2 Modelo de Dados Utilizado :
1.5.3 Tipo de Acesso:
1.5.4 Mídia de Acesso:
1.5.5 Forma de Acesso:

1.5.6 Pré-requisitos:

1.5.7 Custo:

IV. Distribuição

1. Distribuidor.

1.1 Instituição: **CPRM – SEUS (Serviço de Atendimento ao Usuário)**

1.2 Pessoa de Contato: **Tânia Freire**

1.3 Endereço de Contato.

1.3.1 Endereço: **Av. Pasteur, 404 - Urca**

1.3.2 Cidade: **Rio de Janeiro**

1.3.3 Estado: **RJ**

1.3.4 Código Postal: **22.290-040**

1.4 Telefone: **(021)295-5997**

1.5 Fax: **(021)295-5897**

1.6 E-mail: seus@crystal.cprm.gov.br

Fonte: Almeida (1999)

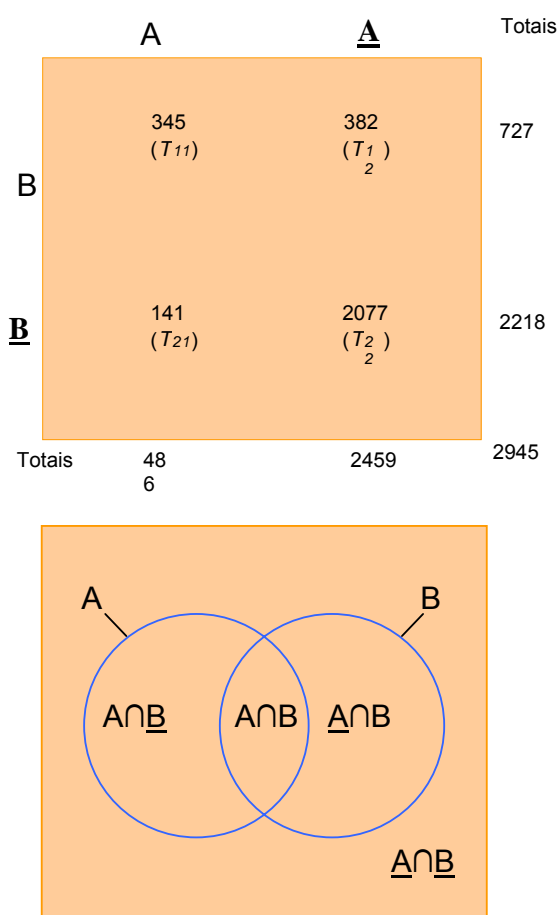
INDICADORES UTILIZÁVEIS COM VARIÁVEIS NOMINAIS

Possivelmente a medida mais imediata de comparação a ser obtida entre dois mapeamentos seja aquela obtida através de uma verificação sistemática dos dois mapas para identificação de ocorrências conjuntas de categorias. Obviamente, se forem comparados dois mapas iguais todas as categorias ocorrerão conjugadas. Em uma comparação em que as categorias de um mapa tenham sido predominantemente derivadas de categorias do outro mapa (que podem portar outras denominações), poderão ocorrer coincidências, neste caso indicadoras da derivação efetuada. Pode ser o caso, por exemplo, de mapas preliminares de associações de solos, mapas estes derivados da análise de mapas topográficos, geológicos ou geomorfológicos. Qualquer que seja a derivação efetuada, o importante é que este procedimento de verificação de ocorrências conjuntas propicia que classificações, em princípio distintas ou mesmo declaradas como independentes, sejam comparadas.

Em todos os casos, uma varredura dos mapas permitirá a tabulação das coincidências (c) e desencontros (d) entre as variáveis e o estabelecimento da relação entre estes desencontros ou coincidências e o número total de unidades territoriais (t) verificadas. Esta relação dará uma medida geral e numérica da associação entre os dois mapas: c / t , que corresponde a $(t-d) / t$.

Cumprido notar que esta medida pode ter sua territorialidade explicitada, se forem identificadas e mapeadas as condições de coincidência e desencontro para cada unidade territorial verificada. Este mapeamento permitirá ilações sobre as categorias contidas nos dois mapas que se apresentem com maior número de desencontros/coincidências. Esta informação poderá ser tabulada especificamente para cada uma das categorias assim identificadas, verificando-se, assim, o grau de heterogeneidade de relacionamento taxonômico de cada uma delas. Este tema será abordado adiante, em maior detalhe, quando da apresentação de procedimentos de monitoria.

Pode ser notado acima que o procedimento comparativo indicado operou sobre condições mutuamente excludentes: estar ou não presente a coincidência de categorias. Procedimento semelhante pode ser adotado para gerar um coeficiente de similaridade e um coeficiente de associação territorial (TAYLOR, 1957; BONHAM-CARTER, 1996, p. 250), válidos para comparações entre dois mapas originalmente binários ou que tenham sido reduzidos à condição binária para a criação dos citados índices. Sua superposição pode gerar tabulações entrecruzadas do tipo apresentado abaixo (Figura 26, na qual as letras sublinhadas representam ausência da categoria) e podem ser formulados como apresentado adiante, para o tratamento (superposição) de dois mapas:



$$\begin{aligned} \text{Área } (A \cap B) &= T_{11} = 345 \\ \text{Área } (A \cap \bar{B}) &= T_{21} = 141 \\ \text{Área } (\bar{A} \cap B) &= T_{12} = 382 \\ \text{Área } (\bar{A} \cap \bar{B}) &= T_{22} = 2077 \end{aligned}$$

FIGURA 26 TABULAÇÃO DE COINCIDÊNCIAS ENTRE DOIS MAPAS

Fonte: BONHAM-CARTER (1996, p.252)

A) Coeficiente de Similaridade C_J (identificado como de *Jaccard* - ROMESBURG, 1990; em BONHAM-CARTER, 1996, p. 249 - 250):

$$C_J = \frac{T_{11}}{T_{12} + T_{21} + T_{11}}$$

Onde:

T_{11} = total de ocorrências conjuntas das variáveis A e B ($A \cap B = 345$);

T_{12} = total de presenças unicamente da variável B ($\underline{A} \cap B = 382$);

T_{21} = total de presenças unicamente da variável A ($A \cap \underline{B} = 141$).

Este índice não considera o total das ausências de A e B, que seria T_{22} . Suas medições podem ser feitas em unidades de área (hectares, quilômetros quadrados ou células), o que também se aplica ao índice apresentado a seguir. Ambos índices oscilam entre 0 (dessemelhança total) e 1 (total similaridade).

B) Um outro índice que pode ser extraído da tabulação cruzada associada à Figura 24 é o Coeficiente de Associação Territorial, C_a :

$$C_a = \frac{T_{11} + T_{22}}{T_{11} + T_{22} + T_{12} + T_{21}}$$

Onde, além dos termos já definidos para o índice anterior, consta mais o termo:

T_{22} = total das ausências duplas das variáveis A e B ($\underline{A} \cap \underline{B} = 2077$).

Este *coeficiente de associação territorial* considera toda a área coberta pelos mapas analisados, apresentando, em consequência, valores numéricos normalmente superiores ao do *coeficiente de similaridade*. Uma comparação pode ser feita entre eles:

$$C_j = 345 / (382 + 141 + 345) = 0,3975$$

$$C_a = (345 + 2077) / (345 + 2077 + 382 + 141) = 0,8244.$$

9.8. QUANTO A VARIÁVEIS EM ESCALA ORDINAL

Conforme discutido anteriormente, a escala ordinal apresenta limitações quanto às manipulações numéricas. Nesta escala, entretanto, as relações entre pares de variáveis são, tradicionalmente, abordadas através do uso do coeficiente de posições (*rank correlation coefficient*) de *Spearman*:

$$CS = \frac{\sum_i^n (PA - PM_A) (PB - PM_B)}{[(\sum_i^n PA - PM_A)^2 (\sum_i^n PB - PM_B)^2]^{0,5}}$$

Onde:

CS = coeficiente não paramétrico de posições de *Spearman*;

PA = posição relativa ao mapa A;

PB = posição relativa ao mapa B;

PM_A = posição média do mapa A (inteiro, se *n* for ímpar, ou com aproximação 0,5 se *n* for par);

PM_B = posição média do mapa B (inteiro, se *n* for ímpar, ou com aproximação 0,5 se *n* for par);

n = número de posições encontradas.

Este coeficiente pode ser usado para comparações entre mapas com base em elementos de resolução territorial ou taxonômica (células, polígonos irregulares ou classes ordinais mapeadas) que estejam sendo adotados para ambos os mapas. Os valores encontrados em cada elemento, se já não estiverem na escala ordinal, deverão ser hierarquizados. No caso do uso de células, a comparação pode ser feita através de varreduras da matriz de dados, com base na definição inicial das posições ocupadas por cada uma (células empatadas passando a adquirir um valor médio posicional, obtido a partir do número de células envolvidas no empate), do estabelecimento da posição média de todas as posições e, finalmente, pela verificação das diferenças entre posições e execução dos cálculos restantes.

O coeficiente de *Spearman* pode ser definido para diversos pares de planos de informação, o que permite a identificação de níveis de relacionamento entre diversos pares destes planos. Esta identificação pode ser altamente informativa sobre possíveis ligações causais entre variáveis. Matrizes de correlação entre pares de variáveis podem ser criadas e inspecionadas para a geração de hipóteses quanto a relações de causa e efeito. Estas relações, apesar de não poderem ser estabelecidas diretamente a partir dos dados na escala ordinal, podem ser testadas através da aplicação de outras estruturas de análise numérica, principalmente se os dados permitirem transposição para escalas de intervalo ou razão. As

matrizes de correlação podem também informar sobre níveis de redundância existentes entre os diversos planos de informação constantes de uma base de dados georreferenciados.

Normalmente os sistemas de informação geram tabulações das ocorrências conjuntas dos valores assumidos pelas variáveis constantes de dois mapas (caso dos procedimentos denominados *assinatura ambiental* e *monitoria*, considerados em item posterior deste texto). Considerando as frequências acumuladas, é possível definir as posições (*ranks*) de cada variável (ou de cada polígono irregular constante dos dois mapas), definir as posições de empate, e proceder à definição do coeficiente de *Spearman*, à partir das mencionadas tabulações de ocorrência.

9.9. QUANTO A VARIÁVEIS NAS ESCALAS DE INTERVALO E RAZÃO

Para estes tipos de variáveis a aplicação do coeficiente paramétrico de *Pearson* é imediata. Usualmente são desconsideradas as premissas de origem de amostras independentes feitas a partir de populações com distribuições de frequência normais, sendo aplicada a clássica relação entre covariância (cov) e variância total (produto dos desvios-padrão de A e de B), para gerar o coeficiente de correlação r (P):

$$r_P = \text{COV}_{AB} / S_A \cdot S_B \quad (\text{DAVIS, 1986, p. 38})$$

Uma das formulações dirigidas para a execução de cálculos é:

$$r(P) = \frac{\sum_i (x_i - x_m) (y_i - y_m)}{[\sum_i (x_i - x_m)^2 \cdot \sum (y_i - y_m)^2]^{0,5}}$$

Onde:

$r(P)$ = coeficiente de correlação de *Pearson*;

x_i e y_i = valores encontrados em cada mapa;

x_m e y_m = médias aritméticas dos valores de x e y.

As aplicações deste coeficiente são semelhantes às apresentadas para o coeficiente não paramétrico de *Spearman*. Neste coeficiente de *Pearson*, no entanto, é possível definir índices de sua validade, pelo seu caráter paramétrico. Tais validações podem ser efetuadas mediante consulta a referências básicas de estatística. Também neste caso é importante criar e inspecionar a matriz de correlações entre as entidades envolvidas (células, polígonos irregulares ou classes ordinais das legendas dos mapas), para a eventual geração de hipóteses sobre redundâncias e relações de causa e efeito.

10. ESTRUTURAS LÓGICAS DE ANÁLISE E INTEGRAÇÃO

Para a investigação de situações ambientais é necessário conjugar, em uma estrutura de análise de dados, todo um conjunto de variáveis convergentes. Uma situação ambiental é um quadro integrado das condições físicas, bióticas e socio-econômicas vigentes em uma ocasião. Estas condições são percebidas, em cada ocasião, como instâncias componentes do conjunto estruturado e dinâmico de objetos e atributos que é o ambiente. Para este quadro integrado convergem fatores causais ou aleatórios a serem registrados como dados associados à situação ambiental em estudo, modelando-a. Este conjunto de variáveis, através do conjunto de dados ambientais que o representa, pode ser responsabilizado pela ocorrência da situação, segundo a visão do seu analisador, ou seja, de quem definiu o citado conjunto de variáveis como possuindo tal responsabilidade.

Dentro da perspectiva acima esboçada, pode ser afirmado que existem várias estruturas lógicas – isto é, de ordenação dos raciocínios para a busca de explicações, ou melhor, para o levantamento de relações relevantes quanto ao entendimento de situações ambientais. Sem pretensões a esgotar o assunto, serão apresentadas a seguir algumas das principais estruturas de raciocínio utilizadas em Geoprocessamento para o levantamento e equacionamento de situações ambientais.

10.1. A LÓGICA BOOLEANA

A combinação de variáveis convergentes tem sido modelada há longo tempo pela superposição de mapas convencionais. São óbvias as dificuldades para definição e interpretação de ocorrências coincidentes em mais de dois mapas superpostos. Com a utilização de mapeamentos digitais, em princípio, tornou-se possível executar operações mistas de conjugação entre inúmeros mapas.

Um procedimento dos mais praticados é aquele que usa operadores definidos pela denominada *Lógica Booleana* (BURROUGH, 1990, p. 82), os quais permitem a extração de informação a partir de diversas variáveis mapeadas. Estes operadores são regras algébricas baseadas nos atributos de pertinência espacial das entidades representadas na base de dados e são conhecidos pelas siglas inglesas *AND*, *NOT*, *OR* e *XOR*, (vide Figura 27). Estas regras definem condições ocorrentes ou não ocorrentes – ditas verdadeiras ou falsas, sim ou não – diretamente representáveis em uma estrutura binária 1 e 0. Sucessões de combinações de atributos espaciais podem ser montadas, sob a forma de trajetórias com bifurcações, denominadas *árvores binárias*, representando o caminho lógico de organização de um raciocínio relativo a uma determinada ocorrência de uma entidade ou evento ambiental.

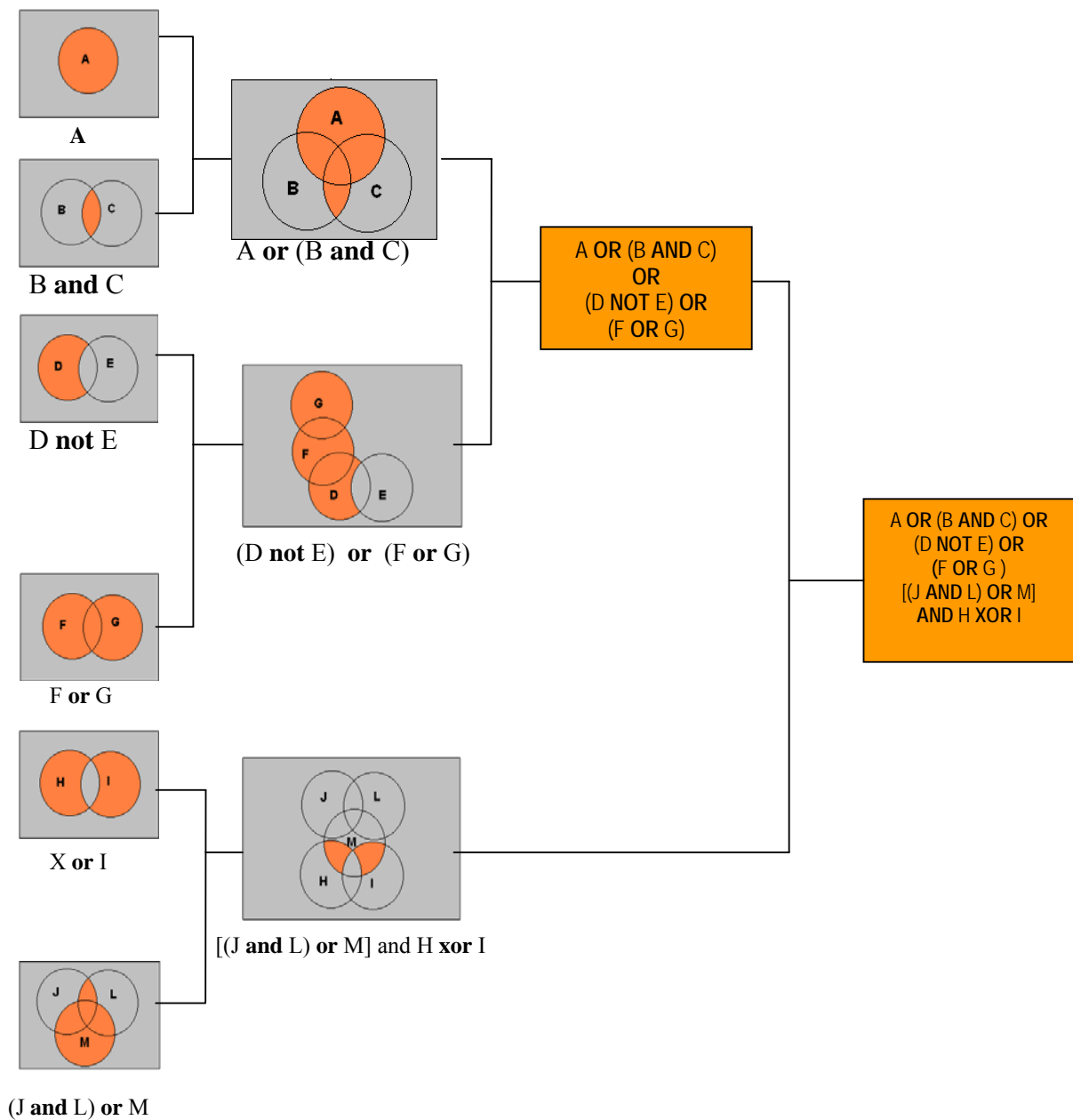


FIGURA 27

OPERADORES BOOLEANOS

As árvores do tipo apresentado na Figura 27 são usadas para representar as sucessivas exclusões (ou inclusões) de características ambientais que podem explicar ou estimar a possibilidade de ocorrência de um determinado evento ou entidade ambiental. Sistemas que executam e operam tais montagens de raciocínio e decisão são denominados *expert systems*, por serem montados a partir de conhecimentos específicos sobre a natureza, comportamento e relações das entidades envolvidas, e podem incorporar a lógica booleana,

conforme apresentado na Figura 27, assim como outras estruturas lógicas, como a média ponderada e a lógica nebulosa, a serem discutidas adiante.

Como lembrança incidental sobre o assunto *estruturas de raciocínio*, a liberdade associada a estes procedimentos exploratórios pode até incluir uma estruturação que poderia ser denominada seleção *ordinal/qualitativa*, conhecida pela sigla inglesa AHP (*Analytic Hierarchical Procedure*), na qual questões tais como “a forma é mais atraente do que a cor da embalagem ?”, ou “a durabilidade é mais importante que o conforto do uso ?” podem orientar e definir a construção das chamadas *árvores de decisão*, outro nome usado para as estruturas heurísticas de raciocínio do tipo aqui apresentado (*Fortune Americas*, 1999; *in*: Jornal do Brasil de 11-05-99).

10.2. A PERSPECTIVA BAYESIANA

Para apresentação da abordagem bayesiana pode ser adotado um procedimento intuitivo baseado no conteúdo lógico das razões (frações ou percentagens) representativas da ocorrência de entidades ou eventos. Estas razões são as probabilidades de ocorrência dos fenômenos em estudo e são apresentadas segundo uma estrutura de proporcionalidade (proporção), a qual pode ser entendida como a essência da abordagem bayesiana aplicada a situações binárias (ausência ou presença das variáveis), ou seja:

$$P(A|F) / P(F|A) = P(A) / P(F)$$

Esta proporção pode ser lida como: a probabilidade de ocorrência de A, uma vez constatada a presença de F (probabilidade condicional de A), está para a probabilidade de ocorrência de F, uma vez constatada a presença de A (probabilidade condicional de F), assim como a probabilidade geral (inicial, prévia) de A está para a probabilidade geral de F.

Da formulação acima pode ser deduzido que:

$P(A|F) = P(F|A) [(P(A) / P(F))]$, expressão que pode ser modificada para:

$P(A|F) = P(A) [P(F|A) / P(F)]$, sem alteração da equivalência entre os termos.

Sob esta segunda forma, a expressão pode ser lida como: a probabilidade condicional de A pode ser estimada pela multiplicação da sua probabilidade geral (prévia, inicial) por um fator de aprimoramento da estimativa composto por uma razão entre a probabilidade condicional de F e a probabilidade geral deste mesmo F. Esta é a formulação bayesiana, a qual permite melhorar estimativas iniciais da probabilidade de ocorrência de uma variável com base na sua ocorrência em associação com outras variáveis.

Para dar um caráter intuitivo a esta apresentação está representada na Figura 26 uma área T, composta por 100 células iguais, que representam uma discretização suficientemente detalhada de uma área geográfica. Nesta área T ocorrem as variáveis A (presença possível de um tipo de animal) e F (ocorrência de um tipo de floresta) em áreas

de diferentes tamanhos porém com alguma superposição (células A e F). A decomposição da área T em 100 células visa facilitar os cálculos mas, principalmente, trazer para a argumentação uma imagem mais imediata da identidade, válida no exemplo apresentado, de conceitos tais como probabilidade, percentagem, parcela do território, frações ordinárias e proporções.

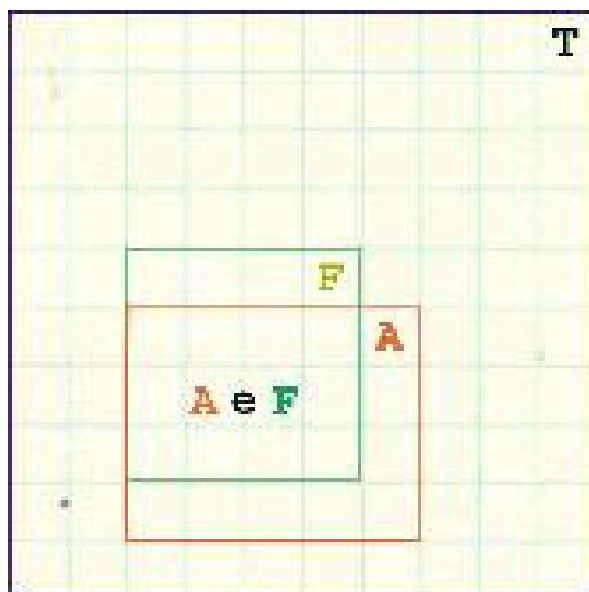


FIGURA 28 **MATRIZ COM**
OCORRÊNCIAS ASSOCIADAS

Da inspeção da Figura 28 pode-se inferir que as células comuns aos dois quadriláteros (identificáveis como o conjunto interseção A e F) podem ser expressos como parcelas (isto é, percentagens, frações, probabilidades) de cada um deles. Os números de células (N) referentes a cada quadrilátero da figura são:

$N(T) = 100$; $N(A) = 20$; $N(F) = 16$ e, finalmente, $N(A \text{ e } F) = 12 = N(F \text{ e } A)$.

Assim sendo, pode-se constatar na Figura 28 que $N(A \text{ e } F) = 12/20$ avos de A. O mesmo quadrilátero, agora expresso como $N(F \text{ e } A)$, corresponde a $12/16$ avos de F. Pode assim ser afirmado que 12 corresponde a 60% de A e 75% de F. Estas são, respectivamente:

- em termos de A (isto é, como parcela de A), as probabilidades de ocorrência de A, uma vez constatada a presença de F, expressa inicialmente como $P(A|F)$;

- em termos de F, (isto é, como parcela de F), as probabilidades de ocorrência de F, uma vez constatada a presença de A, expressa inicialmente como $P(F|A)$.

As probabilidades envolvidas na proporção e na formulação de aprimoramento de estimativas prévias, dela deduzida, ambas anteriormente apresentadas, podem ser expressas em termos dos números de ocorrências N de cada variável envolvida. Esta expressão em termos de N generaliza os conceitos de parcela, percentagem, probabilidade, permitindo cálculos diretos para expressões nas quais N seja diferente de 100. Assim:

$P(A|F)/P(F|A) = P(A)/P(F)$ e, conforme já exposto:

$P(A|F) = P(A) [P(F|A)/P(A)]$. Assim,

$[N(A \text{ e } F)/N(F)] / [N(F \text{ e } A)/N(A)] = [N(A)/N(T)] / [N(F)/N(T)]$ e,

$[N(A \text{ e } F)/N(F)] = [N(A)/N(T)] [N(F \text{ e } A)/N(A)] / [N(F)/N(T)]$

Nos termos numéricos do exemplo, respectivamente:

$[(12/16) / (12/20)] = [(20/100) / (16/100)]$ e,

$12/16 = 20/100 [(12/20) / (16/100)] = 0,2 (0,6 / 0,16) = 0,2 (3,75) = 0,75$.

Em palavras: a probabilidade aprimorada (0,75) de A, uma vez presente F, foi estimada a partir do produto entre a probabilidade inicial (0,2) e o fator de aprimoramento (3,75).

Cabe perguntar: Porque computar $P(A|F)$ a partir do cálculo acima, se poderia ter sido efetuada a divisão $N(A \text{ e } F)/N(F)$? Realmente, em casos de superposição de características ambientais já mapeadas, cujos mapas sirvam de base para os cálculos de probabilidades de ocorrência, como é o caso do exemplo, o cálculo direto é possível. O mesmo não acontece quando a probabilidade $P(F \text{ e } A)$ não pode ser medida diretamente como número de células em um mapa. Este é o caso, por exemplo, da ocorrência de um certo animal em um tipo de floresta. Neste caso, é possível saber quantas vezes foram encontrados em associação o tipo de floresta e os animais, ao longo do território de ocorrência de A, ou seja $[N(F \text{ e } A)/N(A)]$, permitindo, conseqüentemente, a aplicação da formulação bayesiana. Em outros casos, esta probabilidade pode advir da consulta à literatura ou de estimativas de especialistas.

Por outro lado, o valor de $[N(A \text{ e } F)/N(F)]$ não pode ser computado diretamente, em uma situação de pesquisa ambiental, por não se conhecer, ainda, esta relação para toda a área da floresta, da qual resta de restar uma parte a ser pesquisada. O numerador $N(A \text{ e } F)$, no entanto, poderá ser determinado a partir do cálculo de $N(F \text{ e } A)$, quando da pesquisa no território de ocorrência dos animais, como termo da probabilidade $N(F \text{ e } A)/N(A)$.

Na realidade, a pesquisa pode estar buscando elementos de decisão sobre se vale mais a pena pesquisar os animais no restante da floresta ou se, ao contrário, poderia ser investigada a possível presença dos animais independentemente de sua associação com o tipo de floresta onde até então foram encontrados. Esta questão, a priori, pode ser decidida com apoio na formulação bayesiana, usando as estimativas de $P(A|F)$, já definida, e a de $P(A|\underline{F})$, onde \underline{F} (F grifado) significa o território onde não ocorre o tipo de floresta investigado. Assim:

$$P(A|\underline{F}) = [N(A)/N(T)] [N(\underline{F} \text{ e } A)/N(A)] / [N(\underline{F})/N(T)].$$

No exemplo numérico:

$$P(A|F) = [20/100] [(8/20) / (84/100)] = 0,2(0,4/0,84) = 0,2 (0,476) = 0,095.$$

Comparando as estimativas aprimoradas, observando que valores do fator de aprimoramento inferiores à unidade degradam a probabilidade inicial e valores superiores a melhoram:

$$P(A|F) > P(A|\underline{F}), \text{ ou seja,}$$

$0,75/0,095 = 7,875$ o que significa uma probabilidade 7,875 maior de encontrar os animais nas áreas de floresta do que nas áreas não florestadas.

10.3. AVALIAÇÕES PELA MÉDIA PONDERADA

A utilização da média ponderada para a obtenção de estimativas de possibilidades de ocorrência de entidades e eventos ambientais é, por vezes, considerada uma abordagem excessivamente simples, em geral por pesquisadores que usam estimativas baseadas em conceitos de aparente maior complexidade, como as abordagens *bayesiana* e das lógicas *booleana* e *nebulosa* (esta última a ser apresentada adiante). Pode ocorrer, em consequência, o desprezo de algumas características valiosas dos procedimentos de avaliação pela média ponderada, inclusive algumas semelhanças importantes entre estes procedimentos e as abordagens ditas mais complexas acima citadas. Algumas vezes, é possível perceber uma devoção para com a utilização de letras gregas de pouco uso, com as quais se procura mostrar a correspondência de equações com a realidade ambiental. Se esta realidade fosse mais conhecida; se não fosse tão premente a necessidade de disciplinar o uso dos recursos ambientais; se os dados realmente disponíveis se comportassem como entidades matemáticas e não como registros aproximados obtidos segundo diversas escalas de medição; se não fosse, afinal, para a Ciência, mais elegante adotar uma explicação simples, em lugar de uma complexa, para o desconhecido que nos cerca; então seria razoável que apenas procedimentos realmente complexos fossem os únicos aceitáveis para os problemas ambientais. Tais premissas não se verificam e, por sorte ou intuição, feliz ou infelizmente, procedimentos relativamente simples como as avaliações ambientais baseadas na média ponderada continuam sendo usados, com sucesso, na pesquisa ambiental.

A extensa apresentação e as considerações feitas a seguir buscam ressaltar aspectos importantes do uso da média ponderada em avaliações ambientais. Em princípio, estes aspectos mostram a relevância deste procedimento para com as possibilidades de estimar a ocorrência de entidades e eventos ambientais, salientando-se a correspondência dos processos componentes da média ponderada com a convergência de fatores característica das situações ambientais analisáveis por geoprocessamento.

A formulação básica de uma média ponderada, para fins de avaliações multi-classificadoras de uma situação ambiental, pode ser admitida como:

$$MP_n = \sum_k^n [P_k (N_k)] / \sum_k^n P_k$$

Onde:

MP_n = media ponderada a ser atribuída a cada unidade de resolução espacial;

P_k = peso atribuído ao plano de informação “k”;

N_k = valor representativo de uma classe do plano de informação “k”, admitida a restrição da ocorrência de apenas uma classe em cada unidade territorial de discretização adotada (unidade de resolução espacial, que, neste procedimento avaliativo, pode ser denominada unidade territorial de integração de dados);

n = número de planos de informação (e classes) envolvido no cômputo.

As seguintes proposições podem ser feitas quanto à formulação acima:

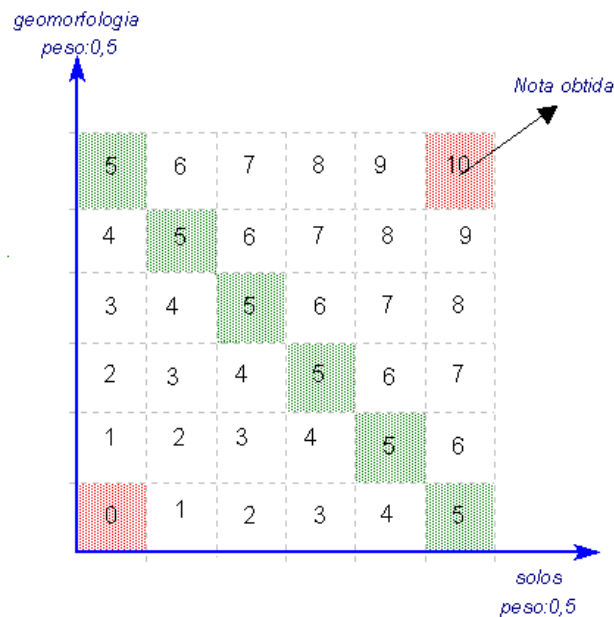
- A media ponderada pode ser postulada como representativa da possibilidade de ocorrência de um evento ou entidade ambiental que seja causado, em princípio, pela atuação convergente dos parâmetros ambientais nela considerados.
- O somatório dos pesos pode ser normalizado, passando a ser expresso no intervalo entre 0 e 1, com a soma dos pesos significando a unidade (1). Isto pode ser entendido como a postulação de que foram consideradas na avaliação todas as variáveis (planos de informação com suas possíveis classes) contribuintes para a possibilidade de ocorrência do evento estimado.
- Uma vez aceita a proposição acima, a fórmula da média ponderada, modificada, pode ser proposta como:

$$(POSS)_i = MP_n = \sum_k^n (P_k (N_k))$$

Onde, além dos termos já definidos acima:

(POSS)_i = possibilidade de ocorrência de um evento ou entidade ambientais.

- Os dados envolvidos na avaliação empreendida podem ser lançados em uma escala ordinal que varie entre 0 e 10 ou entre 0 e 100 (ou outro intervalo qualquer), para que seja gerada uma amplitude de variação suficiente para considerar com maior acuidade a variabilidade das estimativas a serem feitas. Este artifício é semelhante ao utilizado na criação de valores de pertinência na lógica nebulosa e pode ser usado para variáveis de escala nominal, as quais podem ser enquadradas no processo de avaliação em ordem crescente ou decrescente de possibilidades de associação com o evento estimado.
- A normalização dos pesos e seu contingenciamento entre os valores 0 e 1 tem como consequência a definição do valor do peso atribuído a um plano de informação como o máximo que qualquer das classes daquele plano pode assumir. Assim sendo, um solo excelente para uma finalidade, ao receber nota 10 (escala ordinal de 0 a 10), se tiver associado um peso 0,4 ao plano de informação “Pedologia”, contribuirá apenas com quatro unidades no somatório gerador da estimativa da possibilidade de ocorrência do evento estimado ($10 \times 0,4 = 4$).



- Com a adoção da média ponderada está criado um espaço classificatório, em princípio ordinal, mas que pode admitir um grande e variado detalhamento na classificação das estimativas. Considerado com valores oscilando entre 0 e 10 e contendo apenas dois eixos de ordenação, tal espaço classificatório tomaria a forma de uma tabela de dupla entrada, com as extensões dos eixos proporcionais aos pesos adotados, conforme exposto na Figura 29, apresentada a seguir:

FIGURA 29

ESPAÇO CLASSIFICATÓRIO

Nas células desta tabela podem ser lançadas as somas das contribuições de cada variável considerada, passando a tabela a conter todas as instâncias de avaliação possíveis de serem obtidas como média ponderada, segundo os pesos definidos.

Esta tabela documenta uma primeira aproximação da validade da adoção da média ponderada como estimativa das possibilidades de ocorrência de eventos ou entidades: é possível definir a probabilidade de obtenção, por acaso, de qualquer uma destas instâncias de avaliação. Como são 36 as células componentes da tabela, a probabilidade de obtenção, por estrito acaso, de uma nota 10 será $1/36$, que será igual a probabilidade de obtenção da nota 0. Analogamente, ter-se-á:

$$\begin{aligned}p(9) &= p(1) = 2/36; \\p(8) &= p(2) = 3/36; \\p(7) &= p(3) = 4/36; \\p(6) &= p(4) = 5/36; \\p(5) &= 6/36.\end{aligned}$$

Estas probabilidades de ocorrência por acaso (por definição dissociadas de relações causais) são baixas, em particular para as estimativas com valor alto ou baixo. Mesmo no caso de máxima repetição (nota 5), a probabilidade de sua obtenção por acaso é de 16,66%. Pode-se inferir que as probabilidades $1 - p$ são indicadoras (embora não possam ser consideradas definidoras) da existência de uma racionalidade na atribuição de pesos e notas como procedimento para obtenção de estimativas de possibilidades de ocorrência de eventos ou entidades ambientais. A extensão deste raciocínio para mais de duas dimensões é imediata, permitindo aquilatar serem muito baixas as probabilidades de obtenção de estimativas por acaso, se forem considerados mais de dois eixos classificatórios e/ou adotadas escalas ordinais com maior número de instancias.

À primeira vista, o procedimento de avaliação baseado em média ponderada parece pertencer, apenas, ao conjunto dos procedimentos dependentes do domínio franco dos assuntos referentes à avaliação em execução (*knowledge driven evaluation*). Entretanto, muita informação pode ser extraída dos dados antes da execução da avaliação pretendida, através da planimetria de ocorrências específicas (assinaturas ambientais, procedimento a ser discutido adiante). A obtenção de tal informação pode mesmo dar um caráter de *data-driven* (guiado pelos próprios dados) ao procedimento avaliativo.

- A própria natureza do algoritmo da média ponderada postula independência entre os fatores causadores da ocorrência estimada, o que é uma condição muitas vezes não atendida pelos dados e se constitui em um fator a ser considerado quando da análise dos resultados. A violação deste postulado de independência, em casos de estimativas que se baseiam no conhecimento de especialistas é, muitas vezes, inevitável.
- Conforme já indicado em parágrafos anteriores, esse procedimento de avaliação pode gerar valores idênticos (colisões) para diferentes combinações de classes (unidades territoriais em diferentes posições no espaço classificatório). Tal

problema pode ser minimizado através de nova classificação das unidades colididas, segundo um refinamento ou modificação da escala de avaliação, gerando-se novo espaço classificador no qual possam ser incluídos novos eixos ordenadores (novos planos de informação), especificamente destinados à reclassificação almejada. Deve ser ressaltado que tais colisões são mais frequentes nas categorias intermediárias de avaliação, conforme demonstrado na Figura 27. Se houver interesse da investigação para com estes casos intermediários tal procedimento de refinamento da avaliação pode ser adotado.

A exemplificação com uma situação hipotética pode esclarecer o papel atribuído aos pesos e notas no procedimento de média ponderada.

Dois investidores decidem se associar na compra de uma propriedade agrícola para produção de soja, cultivo que exige solos de boa estrutura física (Pedologia) e topografia plana (Geomorfologia). Antes de examinar as propostas de venda apresentadas, decidiram atribuir valores apenas aos controles ambientais pedológico e geomorfológico citados, julgando que estes seriam suficientes como apoio à decisão de compra, criando assim um critério inicial de pesos que propiciasse uma análise racional das propostas, visando terem as maiores chances de adquirir uma propriedade adequada à boa produção de soja.

Após esta decisão inicial quanto aos pesos dos parâmetros ambientais julgados mais importantes, os investidores passaram a analisar as propostas de venda de propriedades agrícolas, atribuindo valores às diversas classes de solos e de formas de relevo encontradas nas várias propriedades ofertadas.

Para cada hectare com solos excelentes e situado em terrenos extensos e planos, por exemplo, foram estimadas as maiores notas, pela aplicação da média ponderada. Analogamente, para hectares com topografia muito irregular e solos inadequados para o plantio da soja foram estimadas notas mínimas. Situações intermediárias também foram consideradas pela atribuição de valores intermediários entre as notas máxima e mínima.

Usando a estrutura da média ponderada discutida acima, cada propriedade ofertada pode ser analisada em termos de seu potencial para a produção de soja (considerados apenas os parâmetros pedológico e geomorfológico). Nestes termos, foram levantadas, para cada propriedade ofertada, as extensões territoriais das terras propícias, de média adequação e inadequadas (note-se que maior número de classes poderia ser criado), gerando-se um quadro de informação primordial como elemento de apoio à decisão de compra.

Alguns aspectos relativos à anedota acima merecem umas tantas reflexões, consideradas a seguir.

- O procedimento adotado foi inteiramente racional e poderia ser expandido para “n” parâmetros ambientais, assim como seria aplicável para muitas outras análises de situações ambientais, para as quais geraria quadros de informação relevantes como apoio à decisão.

- Uma avaliação feita no espaço de atributos (taxonômico) foi executada de maneira decomposta: inicialmente foi considerada a importância relativa de macro-controles ambientais (Pedologia e Geomorfologia); posteriormente foram consideradas as instâncias de ocorrência (classes de solos e de formas de relevo) verificadas em cada caso concreto, às quais tiveram notas atribuídas às respectivas possibilidades de associação com o evento de interesse (alta produção de soja, no exemplo).
- Estas atribuições de pesos e notas foram rebatidas sobre o espaço geográfico, convenientemente discretizado (hectares, metros quadrados, etc) e pode ter sido apresentado sob a forma de mapas abrangendo as propriedades ofertadas. O resultado informou a decisão considerando uma enorme gama de possibilidades relativas às qualificações diferenciadas de cada propriedade, inclusive quanto à localização e extensão territorial de terrenos julgados adequados, de média adequação e inadequados, entre outras possíveis categorias.
- A obtenção das estimativas iniciais (pesos) e posteriores (notas) pode ser feita através de questões de aparência simplória, mas que permitem a construção ordenada das estimativas de possibilidades de ocorrência de inúmeros fenômenos ambientais, conforme exemplificado a seguir.
Os pesos podem ser criados como resposta à questão:
“Qual a importância relativa, em percentual, atribuível a este parâmetro ambiental (Pedologia ou Geomorfologia, no exemplo), como controlador da possibilidade de ocorrência do evento, característica ou entidade ambiental em que se está interessado?”
Quanto às notas a serem atribuídas às classes encontradas na situação ambiental sob análise, pode-se procurar resposta à questão:
“Qual a possibilidade, em uma escala de 0 a 10, ou de 0 a 100, da ocorrência desta classe (tipo de solo, ou tipo de forma de relevo, no exemplo apresentado) em associação territorial com o evento, característica (alta produtividade de soja, no exemplo) ou entidade em que se está interessado?”
- Vale ressaltar que a adoção destes procedimentos verbalizados de obtenção de estimativas libera o encarregado da análise ambiental de extensas explicações sobre a natureza conjugada dos cálculos, permitindo a incorporação de estimativas feitas por diferentes profissionais e outros conhecedores do problema ambiental sob análise, mesmo aqueles que não possuem uma educação formal, denominados, por alguns, como nativos. Propiciar a incorporação ordenada do saber popular ao conhecimento científico somente pode enriquecer o valor das estimativas feitas, que não precisam restringir-se ao conhecido, importante e, por vezes, tendencioso, universo dos *experts*.

É razoável afirmar-se que um dos maiores méritos do uso da média ponderada em avaliações de situações ambientais, tal como apresentado acima, reside na sua proximidade, analogia ou semelhança com o raciocínio avaliativo baseado no bom senso, tal como praticado em julgamentos do cotidiano. A utilização da denominada *lógica nebulosa*, a ser considerada a seguir, também possui esta característica de proximidade do raciocínio humano aplicado em situações comuns.

10.4. A LÓGICA NEBULOSA

Sem maiores pretensões quanto a definir de maneira cabal o termo *lógica nebulosa*, pode-se apresentar seu conceito fazendo algumas comparações com a denominada *lógica clássica*. Esta pode ser considerada como:

a) a ciência que estuda as condições de validade intrínseca do pensamento, tendo como objeto de estudo o conjunto de operações através das quais se elabora o conhecimento;

b) como ciência, se expressa e é analisada pela linguagem discursiva, que não é espontânea (como é o caso da linguagem comum). Ao contrário, é rigorosa, sistemática e encadeada, ou seja, é *formal*;

c) tem como postulado fundamental para aceitação de enunciados as condições mutuamente excludentes de verdadeiro ou falso (MACIEL, J., 1974, p. 22-33).

As considerações “a” e “b” se aplicam à lógica nebulosa, mas é em relação à consideração “c” que sua distinção fundamental quanto à lógica clássica se verifica. Algumas considerações, feitas a seguir, de maior conteúdo, podem ajudar a colocar em contexto mais amplo o valor desta distinção.

Toda lógica repousa sobre a linguagem que usa para exprimir-se. A linguagem, abrangendo o coloquial e o formalismo científico, transcende a lógica, tendo, historicamente, precedido e baseado o seu desenvolvimento. Em consequência, têm que ser respeitadas as construções racionais derivadas do uso da linguagem. Pode ser constatado que muitas declarações são cientificamente pertinentes, isto é, válidas como base para aquisição de conhecimento sobre a realidade, sem serem subordináveis apenas às condições de falsas ou verdadeiras. Para operar sobre estas condições que admitem faixas variáveis de pertinência a uma condição de interesse, foi criada a lógica nebulosa que, ao contrário da lógica clássica, admite estágios intermediários entre as condições de negação e afirmação de uma associação entre termos de um enunciado. Por exemplo, o tempo necessário para um deslocamento de um indivíduo, de sua casa, para uma consulta médica com hora marcada, pode ser classificado, preliminarmente, como suficiente ou insuficiente’. Entretanto, esse tempo também pode ser julgado em termos intermediários que expressariam a possibilidade do indivíduo chegar atrasado ao consultório, em função de problemas de trânsito ou outros percalços. Sair de casa com uma hora de antecedência quase que certamente seria suficiente para não haver atraso. O paulatino retardo da saída de casa transicionalmente iria mostrar a possibilidade de não chegar à hora marcada. Sair com apenas cinco minutos de antecedência certamente significaria atraso no compromisso. Esta situação pode ser expressa em termos de uma função de pertinência, a qual relaciona a possibilidade de ocorrência de atraso ao tempo de antecedência de saída passível de ser adotado (Figura 30).

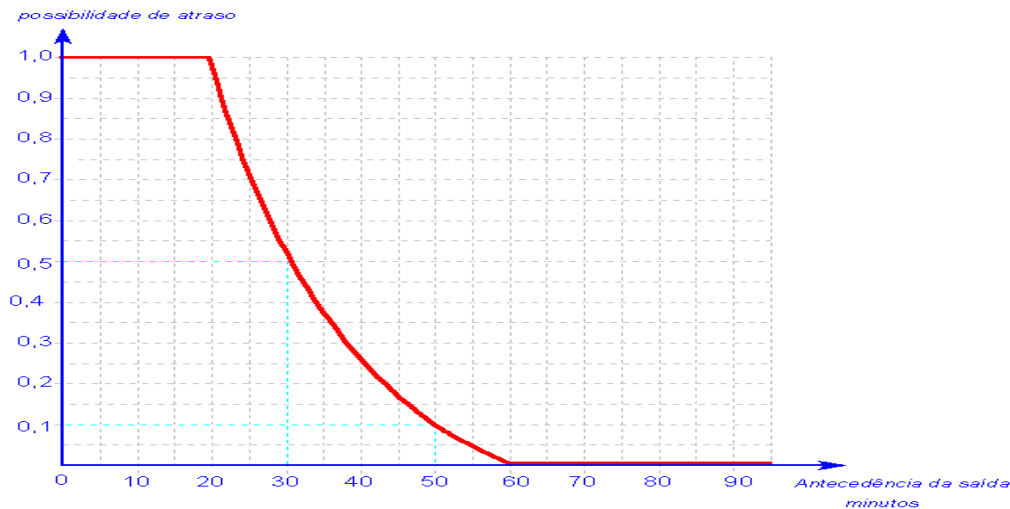


FIGURA 30

FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA

As considerações acima merecem tratamento um pouco mais extenso. Inicialmente, pode-se entender a lógica nebulosa como um produto da preocupação científica com a própria natureza do raciocínio humano como elemento fundamental de apoio à decisão. Obter precisão nas medições de certos fenômenos é dispendioso e, por vezes, impossível. Manda o bom senso que não se procure obter precisão de medidas maior que a necessária. Por outro lado, problemas que envolvem julgamentos complexos e formuláveis apenas em linguagem natural são comuns na pesquisa ambiental. Torna-se necessário prover instrumentos de análise que respeitem estas restrições relativas às medições e à complexidade dos problemas ambientais. A lógica nebulosa é um destes instrumentos.

Em termos operacionais, são duas as fases mais importantes e definidoras da validade do uso da lógica nebulosa na avaliação de situações ambientais. São estas fases:

- a criação da função de pertinência μ_x , apresentada informalmente em parágrafos anteriores, a qual expressa a possibilidade de ocorrência conjunta de um evento ou entidade de interesse com instâncias de uma variável X;
- a utilização de operadores sobre os valores assumidos por μ_x . Ambas serão consideradas adiante.

10.4.1. A CRIAÇÃO DA FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA NA LÓGICA NEBULOSA

A criação desta função, denominada em inglês *fuzzy membership function* (BONHAM-CARTER 1996, p. 291), no caso do seu uso mais geral em geoprocessamento, representa a geração de estimativas da possibilidade de ocorrência de um fenômeno que se julgue estarem associadas a instâncias (valores, posições ou classes) integrantes de um plano de informação ambiental. Se as instâncias forem expressas nas escalas de intervalo ou

razão, isto é, como representativas de uma variável contínua, a função de pertinência pode ser entendida como a probabilidade de ocorrência do fenômeno.

No caso de uma variável expressa na escala nominal, pode ser julgado razoável criar esta função de pertinência dispondo as categorias integrantes do plano de informação ao longo de um eixo, em ordem de importância (disposição ordinal), para a ocorrência do fenômeno ambiental em estudo. A partir desta disposição em ordem crescente ou decrescente poderá ser criada a função de pertinência, através de sucessivas estimativas da associação específica de cada uma das categorias arroladas com a ocorrência do evento ou entidade de interesse. Estas estimativas devem ser criteriosas, sendo normalmente executadas com apoio em discussões organizadas (utilizando o **processo Delphi**, por exemplo, em XAVIER-DA-SILVA E SOUZA, 1988, p. 191) entre conhecedores (*experts*) e participantes das entidades e processos ambientais envolvidos (vide também **Matriz de Objetivos conflitantes**, em XAVIER-DA-SILVA, 1992 em Referências Bibliográficas).

Para o caso de uma variável registrada na escala ordinal, suas instâncias (posições) poderão ser dispostas diretamente sobre o eixo ordenador ou, alternativamente e se for conveniente, poderão as instâncias da variável ser tratadas como se pertencessem a uma variável nominal. Neste caso será possível rearranjar as instâncias segundo uma outra seqüência que não a original.

Em termos rigorosos, a disposição das categorias ou posições de variáveis nominais ou ordinais em ordem crescente ou decrescente não é obrigatória. Esta disposição, no entanto, sem dúvida auxilia na caracterização da forma da função de pertinência, tal como pode ser visualizado nas Figuras 30, 31, 32 e 33. Esta função pode também, obviamente, assumir a forma de uma tabela (vide Figura 34)

Na criação da função de pertinência deve ser notado que o grau de pertinência estimado para cada instância (valor, posição ou classe) representa, ao mesmo tempo, a importância da classe e do plano de informação para a ocorrência do fenômeno. Assim sendo, corresponde ao produto peso x nota adotado como representativo desta possibilidade de ocorrência no procedimento de avaliação pela média ponderada, apresentado anteriormente. Em conseqüência, diferentemente daquele procedimento, a abordagem da lógica nebulosa considera igualmente importantes todos os planos de informação que venham a ser considerados em uma avaliação ambiental.

Três exemplos de funções de pertinência e uma tabela contendo o conjunto das avaliações feitas são apresentados a seguir.

Possibilidades de associação territorial com o evento em estudo

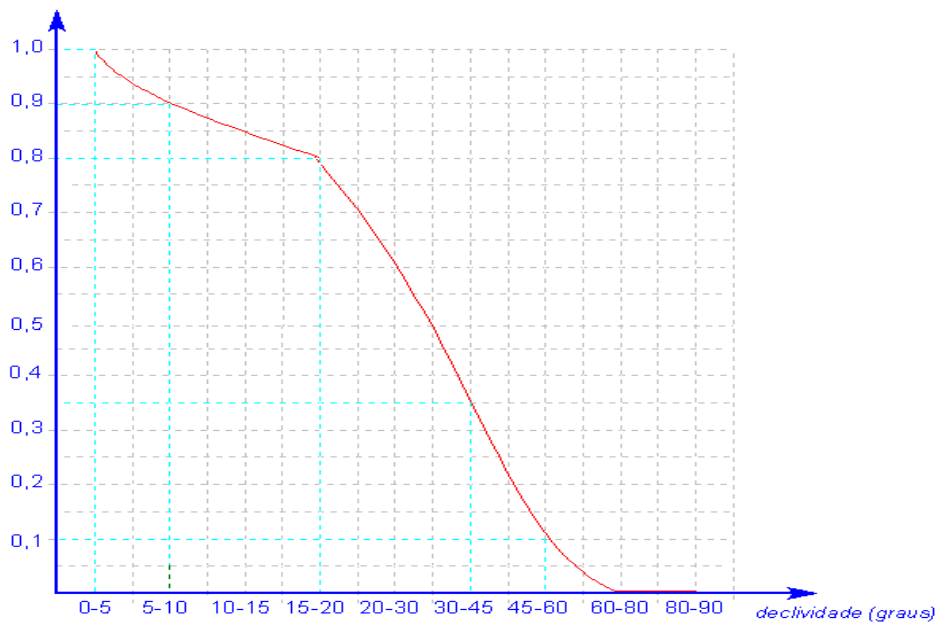


FIGURA 31

INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS*

*Não é uma estimativa da infiltração x declive, apenas um exemplo.

Possibilidades de associação

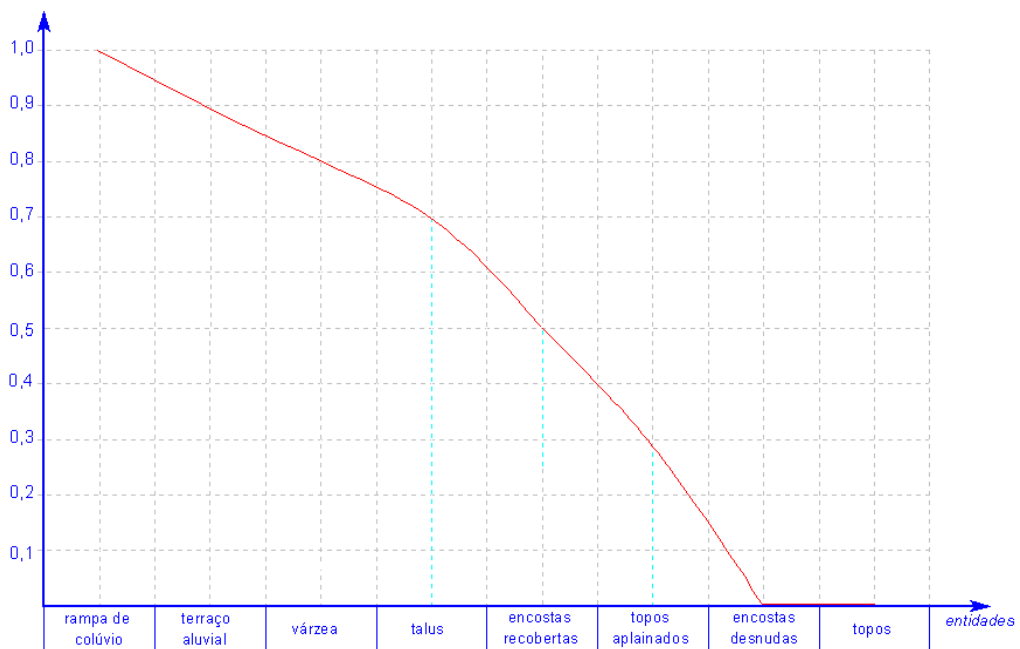


FIGURA 32

DESENVOLVIMENTO DE SOLOS AGRICULTÁVEIS*

*Também apenas um discutível exemplo.

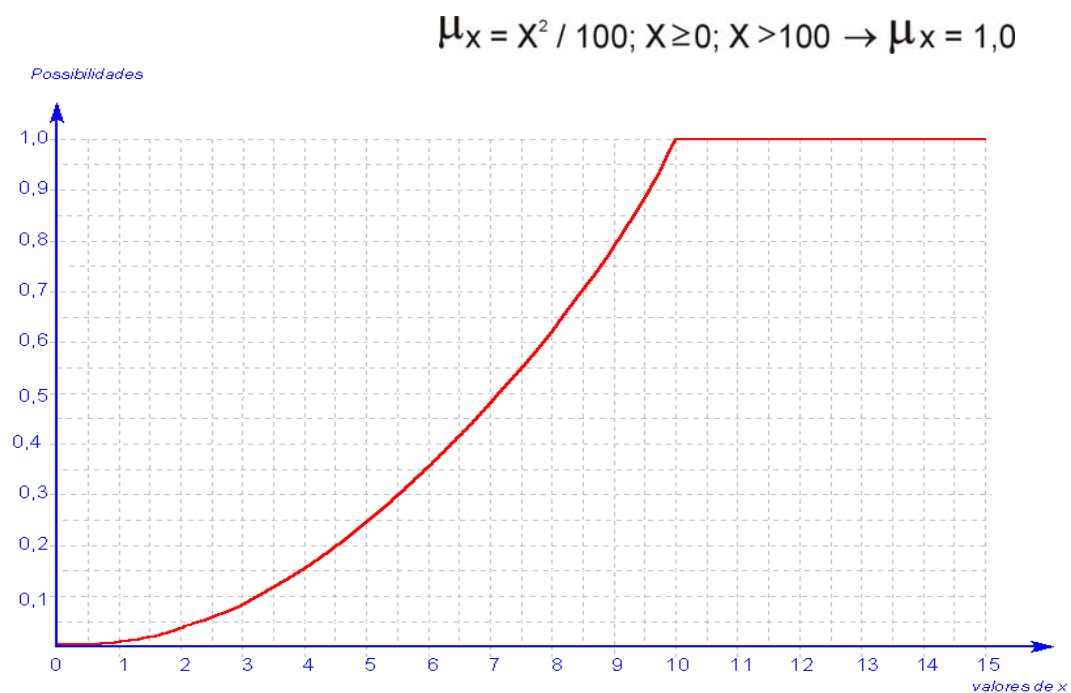


FIGURA 33 UMA FUNÇÃO GENÉRICA DE PERTINÊNCIA

Níveis de possibilidades	Feições	Declividade	Minutos
0,0	Topos em crista	80-90	90
	Encostas desnudas	60-80	80
0,1	-	45-60	50
0,2	-	-	-
0,25	-	-	40
0,3	Topos aplainados	-	-
0,35	-	30-45	-
0,4	-	-	-
0,5	Encostas recobertas	-	30
0,6	-	20-30	-
0,7	Talus	-	25
0,8	Várzea	15-20	-
0,85	-	10-15	-
0,9	Terraço aluvial	5-10	-
1,0	Rampa de colúvio	0- 5	20
			10

FIGURA 34

Mais uma vez comparado com a média ponderada, este procedimento também é poderoso, por permitir a análise de situações ambientais considerando a convergência de fatores causais típica daquelas situações, o que é feito através da aplicação de seus *operadores*, os mais relevantes dos quais serão apresentados a seguir.

10.4.2. ALGUNS OPERADORES DA LÓGICA NEBULOSA

As considerações a seguir baseiam-se, primordialmente, na esclarecedora apresentação feita em BONHAM-CARTER (1996, p. 291-302). Referem-se ao uso simples e combinado de operadores sobre as estimativas de possibilidade de associação apresentadas acima.

a) valor mínimo encontrado

Esta operação consiste, como seu próprio nome indica, na seleção de valores mínimos a serem procurados em cada unidade territorial de integração dos dados (pixel, célula, polígono irregular) e ao longo de todos os parâmetros ambientais (planos de informação) a que se refiram estes valores mínimos. Pode ser usado para o mapeamento de condições mínimas definidas pelo menor valor assumido por qualquer uma das variáveis pertencentes a um conjunto de características ambientais limitantes quanto ao uso ou presença de um evento ou entidade, ou seja, quanto a uma situação específica. Pode ser exemplificado pelo estabelecimento de valores mínimos de diversos poluentes que definam uma área geográfica como poluída. A varredura da área, ao longo de todos os mapeamentos componentes da base de dados, poderá identificar a ocorrência dos valores mínimos de referência, e a presença de qualquer um deles acima de seu respectivo nível aceitável caracterizará a situação de poluição.

b) valor máximo encontrado

Analogamente à busca do valor mínimo, é possível definir a presença de valores máximos ocorrentes nas unidades territoriais de integração, ao longo de diversos planos de informação. Seu uso é semelhante ao descrito no parágrafo anterior, apoiando-se no procedimento de varredura para a identificação de valores máximos para definir uma situação ambiental julgada relevante.

c) produto algébrico nebuloso

Ao contrário dos operadores anteriores, nos quais um valor de uma variável vai classificar a unidade territorial de integração, este operador considera os efeitos conjugados de diversas variáveis na geração de um valor classificatório. Pode ser definido como:

$$\mu_{\delta} = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

onde:

μ_{δ} = produto algébrico nebuloso;

n = número de planos de informação considerados;

μ_i = valor da probabilidade “fuzzy” encontrado em cada plano de informação “i”.

Como as estimativas de probabilidade se expressam na escala 0 - 1, o resultado da aplicação deste operador sempre resultará em um valor inferior ao menor valor constante da multiplicação efetuada. Pode ser aplicado em situações ambientais em que a presença de inúmeros fatores convergentes pode resultar em uma diminuição do efeito de cada variável.

d) soma algébrica nebulosa

Esta não é uma operação algébrica clássica. Corresponde ao outro extremo do produto algébrico nebuloso, uma vez que o resultado a ser obtido sempre será superior ao maior valor componente da operação efetuada. Pode ser definida como:

$$\mu_{\sigma} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$$

onde:

μ_{σ} = soma algébrica nebulosa, e os outros termos são os mesmos do produto

algébrico nebuloso. Os valores a serem obtidos não podem ser superiores a 1, pela própria construção do operador, que apóia a identificação de situações ambientais nas quais o efeito conjugado das variáveis é presumido como sendo superior ao efeito isolado de qualquer uma das variáveis.

e) Combinação Gama

Esta é uma combinação dos dois operadores anteriores e pode ser definida como:

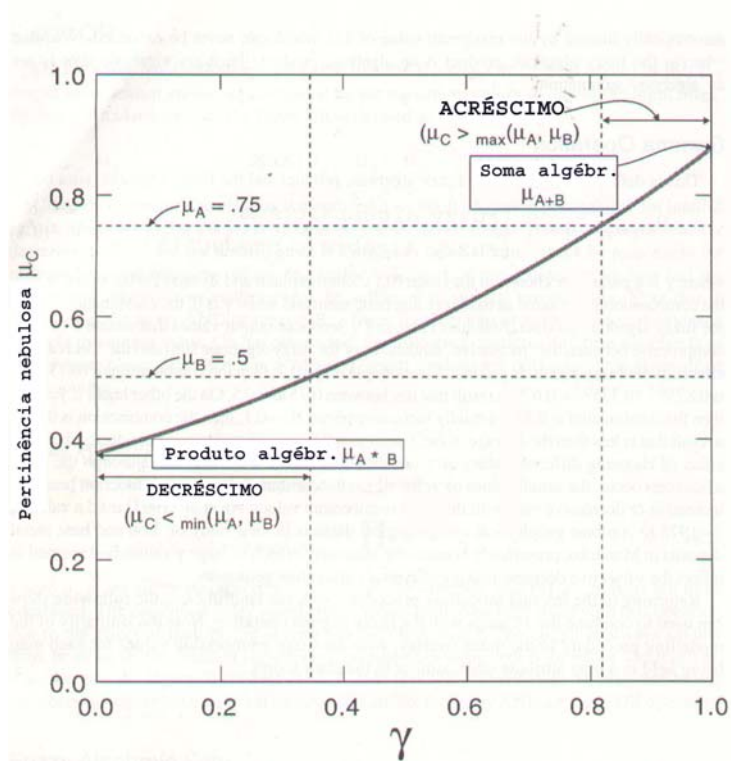
$$\mu_c = (\text{soma algébrica nebulosa})^\gamma \times (\text{produto algébrico nebuloso})^{1-\gamma}$$

onde:

μ_c = combinação gama;

γ = operador gama, que pode assumir valores entre 0 e 1.

Esta combinação dos operadores nebulosos soma e produto, associada ao operador gama no expoente, conjuga os efeitos de cada um dos operadores soma e produto, o primeiro contribuindo para a maximização do valor da combinação, enquanto o segundo tende a minimizá-lo, permitindo que sejam obtidos valores que também oscilam entre 0 e 1, ou seja, probabilidades sejam estimadas. Os efeitos de ambos operadores são controláveis pela escolha do operador γ . A partir dos dados utilizados são definidos limiares de γ , um superior e outro inferior. Entre estes limiares, os valores da combinação soma e produto (μ_c) oscilam entre os valores máximo e mínimo de μ_i . Valores de γ superiores ao limiar superior gerarão estimativas da combinação gama (μ_c) que excederão o valor máximo de μ_i . Valores de γ inferiores ao limiar inferior gerarão estimativas da combinação gama (μ_c) que serão menores do que o menor valor de μ_i . A Figura 35, abaixo, mostra graficamente estas relações.



Uma vez computados os valores da soma e do produto nebulosos, experiências exploratórias podem ser feitas com diferentes valores do operador gama sobre o mesmo conjunto de dados, para que seja criada uma sensibilidade sobre o significado do operador. Testes comparativos também podem ser executados, através do cotejo dos mapeamentos obtidos com situações ambientais conhecidas, para avaliação dos resultados.

Árvores de decisão (também denominadas redes de inferência) podem ser montadas com o uso de diferentes operadores nebulosos em suas bifurcações, em um procedimento dedutivo semelhante ao apresentado para as avaliações baseadas na lógica booleana (vide Figura 27).

SISTEMAS GEOGRÁFICOS DE INFORMAÇÃO: UMA METODOLOGIA?

11.1. PARA MEDITAR...

Um dos problemas fundamentais da pesquisa ambiental é o seu caráter intrinsecamente idiográfico. As situações ambientais são únicas, no tempo e no espaço. No entanto, investigar a natureza e as associações de eventos e entidades registráveis nestas situações ambientais é uma tarefa que pressupõe procedimentos ordenados e aceitos pela comunidade de pesquisadores. Esta pressuposição conduz, necessariamente, ao desenvolvimento e verificação prévios (ou concomitantes) destes procedimentos de pesquisa, os quais devem possuir algum poder de generalização, isto é, não devem ser apenas aplicáveis a uma única situação ambiental estudada. Criam-se, assim, dilemas quanto ao alcance dos procedimentos a serem aplicados à pesquisa ambiental: qual o nível de fragmentação a ser adotado nos procedimentos de investigação? Será suficiente apresentar a situação ambiental em termos de uma classificação? Ou será primordial investigar as relações entre entidades e eventos ambientais considerando, integradamente, suas dimensões taxonômicas, temporais e territoriais? Como primeira resposta a estas questões, pode-se afirmar que, infelizmente, para muitos que pesquisam em Geoprocessamento, as situações ambientais são analisadas de forma acanhada, restrita ao esforço (não desprezível nem desprezável) de classificação ou identificação dos componentes da situação ambiental. E, no entanto, os problemas ambientais exigem uma visão mais ampla, que os coloque dentro de um quadro de utilidade social, no qual sejam gerados elementos de apoio à decisão. Este tema merece, pelo menos, um parágrafo especial.

A liberação do poder de criação de soluções autóctones pelo pesquisador é uma condição altamente cobiçada por qualquer educador. No caso da pesquisa ambiental, conforme afirmado acima, estas soluções deverão estar baseadas em procedimentos aceitáveis e, portanto, de caráter nomotético, isto é, de aplicabilidade não singular. Diante destas condições contraditórias, ou seja, que demandam aplicação de soluções comprovadas

para novos casos peculiares, é primordial que o pesquisador seja capaz de recorrer a raciocínios baseados em proposições fundamentais. Anteriormente, neste texto, já foram feitas considerações acerca destas proposições axiomáticas. A reincidência, neste momento, se justifica por motivos didáticos que demonstrem a ligação das práticas de pesquisa com aquelas proposições, aparentemente de caráter apenas teórico, mas que, na realidade, baseiam, consciente ou inconscientemente, as metodologias empregadas na pesquisa ambiental. Será tentada, a seguir, a demonstração destas ligações.

Os eventos e entidades ambientais podem ser estudados em termos da ocorrência de localizações coincidentes. A extensão da ocorrência coincidente pode ser estabelecida ao nível de detalhe adequado aos dados disponíveis, definindo-se, assim, a possibilidade de correlações baseadas na localização e nos diversos níveis de ocorrência concomitante que venham a ser registrados. Além disto, os eventos e entidades ambientais podem ser analisados em termos de sincronia de suas alterações registradas, ou seja, de sua evolução, tal como constatadas pelos registros disponíveis. Estas são afirmações cabais e que devem estar perfeitamente dominadas, conceitualmente, pelo pesquisador.

Um pouco de reflexão sobre as considerações acima leva à conclusão de que são estes os elementos básicos das inferências de causalidade relativas aos eventos e entidades analisados. A partir desta constatação teórica, cabe ao pesquisador criar procedimentos analíticos e sintetizadores que revelem a presença inferida de relações causais aplicáveis à situação ambiental com que se defronta. O Geoprocessamento é uma metodologia que permite a criação destas ambicionadas ligações. O uso de SGIs propicia a visão da situação ambiental como um todo – a decantada perspectiva holística - agora operacionalizada. Torna-se possível identificar relações de contingência, conexão, proximidade e funcionalidade entre partes componentes da situação ambiental, e o próprio esforço de sua classificação pode perder seu caráter estanque e tornar-se altamente informativo e recompensador quanto à possibilidade de aplicação de explicações análogas para outras situações ambientais semelhantes. Em termos bem práticos, o problema que se propõe quanto à criação de procedimentos de pesquisa ambiental baseados no uso do Geoprocessamento e de SGIs é que estes procedimentos sejam respeitadores da natureza diversificada dos dados ambientais e, ainda assim, permitam análises e integrações sucessivas que conduzam a deduções quanto a relações causais. A proposta metodológica apresentada a seguir, talvez despropositadamente, tem esta ambição.

11.2. UMA PROPOSTA...

Conforme afirmado acima, com a metodologia a ser apresentada podem ser feitas deduções quanto à extensão territorial e possibilidades de associações causais entre variáveis ambientais. Estas ligações se originam a partir da ocorrência associada, no tempo e no espaço, das características ambientais sob análise, podendo ser usada uma estrutura integradora e classificadora baseada em uma escala ordinal. Os dados ambientais, obtidos nas escalas ordinal, nominal, de intervalo ou razão, são, assim, convertidos à escala ordinal e neste referencial padronizado e específico para uma finalidade são executadas as classificações almejadas e levantados e analisados os relacionamentos julgados relevantes.

Problemas ambientais, obviamente, ocorrem dentro das dimensões básicas do mundo físico, ou seja, tem expressão territorial (espaço) e uma dinâmica (tempo). Usando registros de ocorrências passadas como base para identificação da dinâmica de ocorrência territorial de fenômenos ambientais é possível apreender, em certa medida, o direcionamento da evolução do fenômeno, conhecimento este utilizável na previsão de futuras possíveis ocorrências.

Em consequência do acima exposto, os procedimentos propostos podem ser divididos em dois grandes grupos: os referentes ao diagnóstico de situações existentes ou de possível ocorrência, e os procedimentos de prognose, nos quais são feitas previsões e zoneamentos, e, eventualmente, sugeridas provisões quanto aos problemas ambientais em estudo (vide Figura 36). Alguns tópicos discutidos anteriormente serão novamente mencionados a seguir, visando tornar mais direta a caracterização dos procedimentos apresentados.

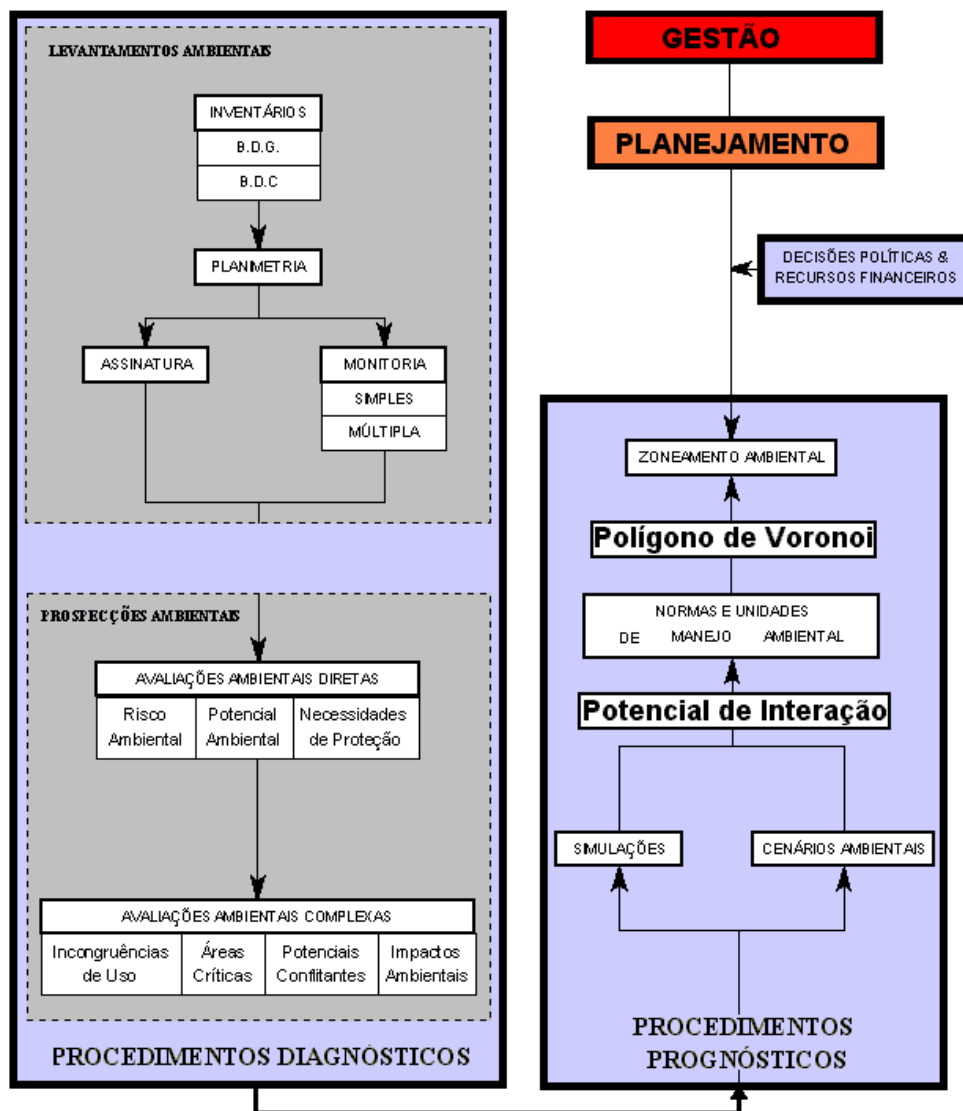


FIGURA 36

11.3. PROCEDIMENTOS DIAGNÓSTICOS

Compreendem os tratamentos necessários à identificação, no tempo e no espaço, de dados e problemas específicos relevantes para a análise da situação ambiental em estudo.

11.3.1. LEVANTAMENTOS AMBIENTAIS

Correspondem à criação da base de dados geocodificados, na qual estão contidos os dados ambientais básicos (físicos, bióticos e socio-econômicos) que tenham sido definidos como portadores de poder diagnóstico quanto à situação ambiental estudada. Compreende o cômputo de áreas de incidência de eventos e entidades, o acompanhamento da evolução de ocorrências territoriais e o uso da base de dados como um instrumento de identificação, e, mais nobremente, de aprendizagem quanto à ocorrência de associações de eventos, entidades e características ambientais (procedimentos heurísticos).

- **Inventário**

Pode ser definido como o levantamento das condições ambientais vigentes em uma certa extensão espacial, em uma ou em várias ocasiões. Em uma primeira visão, este levantamento é composto por mapas temáticos (solos, geomorfologia, uso da terra, etc.) e registros de eventos e entidades não diretamente espaciais, porem atreláveis aos citados mapas temáticos. Consiste em uma enumeração classificável das características ambientais, naturais e sócio-econômicas, existentes e/ou julgadas relevantes. Os critérios de relevância e o nível de detalhamento adotado dependem da finalidade do levantamento.

No geoprocessamento faz-se o inventário criando um modelo digital do ambiente que compreende os dados cartografados (Banco de Dados Geográfico - BDG – ou, mais especificamente, base de dados geocodificados), associados ou não a conjunto de dados alfanuméricos (Banco de Dados Convencional - BDC).

No BDG os dados possuem a sua localização no espaço explicitada; por isto, são também denominados georreferenciados. Este georreferenciamento pode ser atrelado a uma projeção cartográfica ou a um sistema de coordenadas arbitrário. Pode-se trabalhar com a denominada rede quilométrica, aferida à projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*), com a qual é possível computar distâncias segundo escala decimal, ao contrário do georreferenciamento baseado em medidas angulares (referencial geográfico), que usa escala sexagesimal.

No BDC podem ser armazenados dados que não têm direta expressão territorial, de que são exemplos os nomes de proprietários, situação de proprietário quanto à tributações, quantidades produzidas, entre outros. É mandatório que esses dados estejam aferidos ao BDG para que a recuperação da informação do BDC, a partir da base geocodificada, se torne possível, assim como seleções feitas no BDC possam ser mapeadas.

A criação de BDC's a serem atrelados à base geocodificada não é uma tarefa tão trivial quanto possa parecer à primeira vista. Os BDC's variam em sua natureza e finalidade, e o seu atrelamento aos dados georreferenciados necessita respeitar as particularidades estruturais e as finalidades para as quais ambas estruturas, o BDG e o BDC foram montados. Uma base geocodificada imperfeitamente associada ao BDC pode significar o não atendimento a uma legítima expectativa de pesquisa do usuário, e o caso mais comum de atrelamento imperfeito consiste na escolha errônea das unidades de integração territorial (UTIs), conforme já discutido anteriormente.

É preciso ressaltar a importância que tem a criação de um inventário realmente adequado. Apenas dados realmente necessários devem constar de uma base de dados. Normalmente as bases de dados são projetadas no início da investigação, e um superdimensionamento de tipos e número de dados ocorre. Gastos desnecessários de grande monta podem ocorrer em função deste superdimensionamento seja na geração de dados supérfluos, seja nos gastos de manutenção da base de dados superdimensionada.

Um inventário ambiental também pode ser entendido como um arcabouço físico e lógico representativo da realidade ambiental, comportando as variações identificadas dentro das entidades territoriais e taxonômicas que o compõe. É um modelo digital do ambiente, no qual transformações dirigidas podem ser executadas sobre os dados, gerando como resultados esquemas classificatórios mapeados, acompanhamento da evolução de fenômenos, zoneamentos e inferências quanto a relacionamentos causais, entre outros elementos condutores da gestão ou controle ambiental (intervenções, incentivos, taxações, multas, etc.), alguns dos quais serão discutidos a seguir.

- **Planimetrias**

Estritamente, planimetria significa identificação de área de ocorrência. Como técnica de geoprocessamento a planimetria é também a identificação da extensão territorial de ocorrências. Porém, o uso judicioso desta técnica permite transformar dados constantes de um inventário ambiental em ganho de conhecimentos relevantes. Alguns exemplos são apresentados:

a) extração direta de dados básicos: compreende a simples extração da informação ambiental de interesse, por exemplo, as áreas de ocorrência da feição geomorfológica "várzea".

b) extrações seletivas e combinadas sobre a base geocodificada: é exemplo a definição de áreas onde ocorrem, simultaneamente, um tipo de solo e também um tipo particular de vegetação.

c) extração seletiva e combinada relacionada a BDC: é exemplo a definição da área desmatada dentro dos limites de uma propriedade especificada no BDC. Como consequência, o dono da propriedade pode ser identificado, no BDC, para fins legais.

d) extração de áreas de ocorrência de resultados de monitorias e avaliações: como será visto adiante, acompanhamentos da evolução de fenômenos ambientais (Monitoria), classificações sobre possíveis eventos (Avaliações de riscos, potenciais, impactos e criação de cenários prospectivos), podem gerar resultados parciais de interesse imediato; são exemplos diretos a planimetria de áreas que poderão vir a ser devastadas ou a definição de possíveis novas áreas urbanizadas por loteamentos ou crescimento de favelas.

Em síntese, a planimetria, como técnica, precisa ser dirigida, empregada metodicamente, para que resultados significativos para a análise ambiental emanem de sua utilização. Serão apresentados a seguir dois procedimentos exploratórios baseados em planimetrias e que são adequadamente dirigidos para a obtenção de informação ambiental.

- **Assinaturas**

SIGs permitem o trânsito entre localizações e atributos, ou seja, a recuperação da localização a partir da seleção de uma informação e vice-versa. Esta capacidade dos SIGs pode ser usada em conexão com identificações de ocorrências oriundas de trabalhos de campo ou de gabinete, para a extração das chamadas assinaturas ambientais, conforme discutido a seguir.

Assinaturas espectrais são obtidas no Sensoriamento Remoto, para identificação de alvos em termos de suas respostas físicas a uma incidência de energia, ao longo de segmentações (canais, bandas) do espectro eletromagnético, por exemplo. Um referencial análogo pode ser criado, tendo como eixos os planos de informação (parâmetros) constantes do inventário de um SIG.

Uma vez definida uma ocorrência de interesse (uma área de enchentes, ou uma área com alta produtividade agrícola), que seria um alvo (uma "verdade terrestre"), a base de dados pode ser consultada sobre quais as características ambientais que se localizam na área alvo, definindo assim sua assinatura ambiental, com a identificação da área de ocorrência e varredura dos planos de informação georreferenciados componentes da base de dados sendo feita pelo cômputo planimétrico mencionado acima.

É importante ressaltar que com o procedimento de assinatura acima descrito faz-se uso do SIG como um hiperespaço heurístico. Neste espaço é possível se informar empiricamente sobre possíveis associações causais entre variáveis ambientais. No estágio de conhecimento precário existente sobre processos ambientais (seqüências de eventos que são responsáveis pela evolução do ambiente) é imperativo que se façam inferências sobre problemas ambientais a partir de ocorrências territoriais conjuntas de fenômenos.

- **Monitorias**

O apoio à decisão sobre problemas ambientais não pode basear-se apenas na informação sobre ocorrências territoriais; esta é a dimensão espacial do fenômeno ambiental. É preciso obter conhecimento sobre a evolução, ou seja, sobre a variação, no tempo, dos fenômenos territorialmente expressos. Em consequência, a monitoria (ou monitoramento ou monitorização) ambiental precisa ser eficientemente executada sobre o modelo digital do ambiente. Este procedimento consiste no levantamento exaustivo das alterações ambientais ocorridas em uma determinada situação ambiental. Registros sucessivos de fenômenos ambientais, utilizando taxonomias correspondentes (classificações iguais ou correlacionáveis), podem ser usados para o acompanhamento da evolução territorial de processos e ocorrências de interesse. É o caso do acompanhamento da devastação de florestas, da expansão de áreas de favelas, entre outros fenômenos, muitos de direta e óbvia importância para a gestão ambiental.

As monitorias podem ser executadas em duas fases: simples e múltipla. Estes termos são aqui colocados para fins didáticos, sem pretensão de se constituírem numa tipologia completa do que pode ser entendido como monitoria ambiental.

a) Monitoria Simples

Consiste na definição de alterações de localização e extensão de características ambientais determinadas, ao longo de um período definido. Pode ser feita através da comparação da ocorrência da mesma característica ambiental ao longo de duas ocasiões registradas e contidas nos dados inventariados. Esta estrutura de Monitoria Simples permite definir imediatamente as seguintes instâncias:

- os locais que não sofreram alteração, nos quais foi mantida, portanto, a ocorrência da característica na segunda ocasião registrada; “era e continua sendo”;
- os locais onde a característica passou a existir, por não ter sido registrada na primeira ocasião; “não era e passou a ser”;
- os locais onde a característica deixou de existir, tendo sido registrada apenas na primeira ocasião; “era e deixou de ser”; e, finalmente,
- os locais onde a característica não existia na primeira ocasião e continua sem existir na segunda; “não era e continua sem ser”.

O exame destas alterações, uma vez cartografadas, permite definir, em certa medida, o sentido e a velocidade de progressão do fenômeno no espaço geográfico. A incidência da progressão de uma fronteira agrícola sobre um território indígena, por exemplo, pode ser registrada por essa monitoria simples, podendo este sentido do deslocamento e a rapidez dessa expansão territorial serem razoavelmente estimados (vide Fig. 37, que mostra uma situação análoga, de destruição e regeneração de áreas de mata).

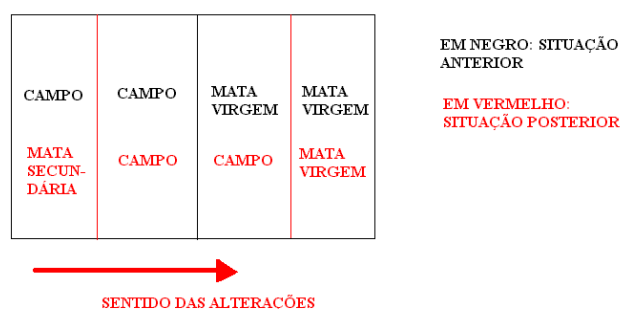


FIGURA 37

b) Monitoria Múltipla

Uma vez definidas as áreas em que uma característica deixou de existir (terceira instância apresentada acima) e os locais onde uma característica passou a existir (segunda instância), pode haver interesse na obtenção de informação sobre:

- o destino dado à área que sofreu alteração. Como exemplo pode ser apresentada a utilização dada a áreas florestais devastadas;
- em que características ambientais veio a incidir uma determinada expansão territorial. Constitui exemplo a identificação dos tipos de uso da terra sobre os quais se expandiu uma mancha urbana.

É de notar que as monitorias acima descritas constituem, de certa forma, aplicações diretas dos conceitos e técnicas de planimetria e assinatura descritos anteriormente. Os resultados obtidos, no entanto, são complexos, permitindo inferências de maior envergadura quanto a espacialidade e temporalidade inerentes aos fenômenos ambientais. Além dos resultados acima exemplificados, deve ser notado que podem ser efetuados cálculos de razões entre áreas originais e áreas transformadas, definindo-se, assim, probabilidades de transição para transformações ambientais que sejam julgadas de interesse.

11.3.2. PROSPECÇÕES AMBIENTAIS

A informação obtida com planimetrias, assinaturas e monitorias podem instruir extrapolações territoriais, ou seja, classificações do espaço geográfico baseado nos levantamentos de conjugações de características ambientais que estejam representadas na base de dados e sejam de interesse para uma finalidade específica. Esse procedimento empírico pode ser denominado Prospecção, por analogia com as prospecções feitas em Geologia, as quais se baseiam, muitas vezes, em extrapolações territoriais.

Por outro lado, conhecimentos sobre processos ambientais podem basear a prospecção ambiental, segundo relações conhecidas entre variáveis ambientais (vegetação x solos, por exemplo), e podem também orientar a criação de classificações territorializadas. Neste caso, estar-se-á procedendo analiticamente na prospecção ambiental. Nada impede que os dois procedimentos, o analítico e o anterior, de caráter empírico, sejam conjugados, em um processo de calibração baseado em comparações e aperfeiçoamentos progressivos.

As prospecções podem ser erigidas em Avaliações Ambientais, na medida em que sejam usados procedimentos de cálculo numérico na definição de áreas de ocorrência conjunta de características ambientais. O uso de escala ordinal, à qual passem a estar aferidos os dados originais registrados em qualquer escala de medição (nominal, ordinal, intervalo e razão), permite definir um espaço taxonômico classificatório composto por eixos ordenadores. Estes eixos contêm uma hierarquização das categorias componentes (instâncias, classes) de cada variável ambiental. Estas variáveis são características

ambientais escolhidas por seu poder diagnóstico quanto ao fenômeno ambiental de interesse.

Conforme já discutido anteriormente, estruturas lógicas de análise (média ponderada, lógicas booleana e nebulosa e tratamentos bayesianos) podem ser geradores de avaliações ambientais. No caso da média ponderada podem ser definidos pesos e notas que basearão a criação de um referencial multidimensional e ordinal. Neste referencial poderá ser feita a definição de posições das unidades territoriais de integração dos dados, passando estas unidades a serem classificadas segundo um conjunto de atributos. Este tipo de classificação, embora reconhecidamente não considere, por si próprio, problemas de redundância nos dados e trabalhe em uma escala apenas ordenadora, é suficientemente robusto para acomodar as numerosas variáveis ambientais de escala nominal, juntamente com as variáveis de outras escalas de medição. Sacrifica a precisão para garantir uma estrutura de modelagem abrangente, convergente como são os problemas ambientais, e de fácil reconstituição da origem dos seus resultados, condição esta de grande interesse para a definição de relações causais a partir da ocorrência territorial conjunta de diversas variáveis ambientais.

As avaliações ambientais podem ser apresentadas segundo dois tipos: diretas e complexas apresentadas a seguir.

- **Avaliações ambientais diretas**

São aquelas que resultam da combinação imediata dos dados originalmente inventariados, isto é, são os primeiros resultados avaliativos obtidos com a combinação dos dados originais. Estas combinações podem gerar alguns tipos de mapeamento, entre os quais merecem destaque os de riscos e de potenciais ambientais.

- **Riscos ambientais**

O conceito de risco ambiental é, essencialmente, uma ligação da ocupação humana com as possibilidades de ocorrência de eventos que lhe sejam danosos. Embora o rebatimento sobre a ocupação humana não seja imprescindível – caso da previsão, entre outras, de erupções vulcânicas em áreas desabitadas – é inteiramente dominante a definição de riscos segundo sua importância para o homem. Tem, portanto, uma conotação negativa, a qual se expressa, por exemplo, nos termos “de alto risco” aplicados a uma determinada situação ambiental.

No caso do uso da estrutura lógica de análise aqui denominada Média Ponderada, deve ser notado, entretanto, que a conotação negativa acima mencionada não implica na forçosa adoção de escalas que se projetem de “zero” a “menos infinito”, podendo ser feito o lançamento ordenador das instâncias de risco ao longo de eixos classificadores que se projetem de “zero” a “mais infinito”. Isto permitirá a junção de avaliações de condições ambientais negativas com avaliações positivas, se forem usadas ordenações invertidas. Este ponto, à primeira vista, pode parecer pouco significativo, mas é importante quando se consideram combinações de riscos e potenciais em esquemas numéricos integradores e

classificadores de situações ambientais, como são alguns dos casos dentre as denominadas “necessidades de proteção” e “avaliações complexas”, a serem apresentadas mais adiante.

De um ponto de vista físico e lógico, os riscos ambientais deveriam compor as limitações do ambiente frente a uma alteração ambiental, a qual seria geradora de uma reação danosa e indesejável pelo homem. A ação interveniente pode ser antrópica, uma catástrofe natural ou mesmo a alteração lenta das condições do meio ambiente. Constituem exemplos destes tipos de avaliações os mapeamentos de riscos de enchentes ou de desmoronamentos. Estas deveriam ser condições limitantes, por exemplo, quanto à expansão urbana. No entanto, são estes locais de risco ocupados por favelas nas cidades do chamado Terceiro Mundo, em flagrante desrespeito aos limites físico-territoriais opostos pelo ambiente à expansão urbana desordenada. Um exemplo de estimativa de risco que merece algum comentário é o de risco de erosão de solos. Trata-se de uma alteração relativamente sutil, normalmente associada a um uso da terra inadequado e contínuo. Representa um caso de estimativa de um processo lento de alteração ambiental que, no entanto, é extremamente valioso para decisões quanto a empreendimentos agropecuários e de ocupação geoeconômica, em geral. Neste caso, pode também ser mencionado que a definição de riscos ambientais pode orientar a escolha de alternativas de traçados viários. Os mesmos tipos de risco podem ser estimados para as diversas alternativas, contribuindo para a eventual seleção de uma delas.

Uma vez adotada uma escala de medição uniformizada, estimativas de riscos de diversos tipos (enchentes, desmoronamentos, ressacas, chuvas de granizo) podem ser conjugadas em um esquema numérico integrador, gerando assim a definição de áreas com diferentes níveis de risco ambiental, o que pode sinalizar quanto a áreas adequadas ou inadequadas para um determinado uso, quanto a áreas de valor intermediário, assim como identificar aquelas áreas onde os riscos são altos ou, pelo contrário, insignificantes. Normalmente estas conjugações são aferidas pelo uso de escalas ordinais, muitas vezes traduzidas por expressões do tipo “alto risco”, “riscos intermediários” e “baixos riscos”.

- **Potenciais ambientais**

O termo "potencial ambiental", assim como o anteriormente apresentado "risco ambiental", não é proposto aqui com um caráter definitivo, acabado. Isto também é verdade para todos os termos apresentados neste trabalho. Estes termos representam, antes de mais nada, um esforço de comunicação quanto a conceitos julgados úteis. Note-se que estes conceitos não são apresentados isoladamente, mas sim dentro de uma estrutura de apresentação de um roteiro de raciocínio, enfim, dentro de uma metodologia.

Segundo a ótica acima apresentada, pode-se entender potencial ambiental como um levantamento de condições ambientais no qual são identificadas a extensão e possível expansão territorial de um processo ambiental. Pode existir uma conotação positiva na avaliação, mas esta não é obrigatória. São exemplos a urbanização desordenada (de teor negativo) ou a urbanização planejada, o potencial turístico de uma região ou a aptidão agrícola de uma determinada área, estes últimos portadores de conotação positiva, em princípio.

A partir da existência de um inventário ambiental de uma área geográfica, sobre o qual tenham sido feitas análises (assinaturas, monitorias e probabilidades de transição, estimativas de riscos e potenciais), é possível levantar todo um conjunto de estimativas, de óbvio interesse direto para o planejamento e a gestão territoriais. É o caso da avaliação de necessidades de proteção ambiental, na qual podem aparecer como elementos definidores das necessidades mencionadas não apenas os riscos que a situação ambiental apresente, mas também os potenciais nela existentes, que podem definir igualmente necessidades de proteção. Como exemplo pode ser citado o caso das Unidades de Conservação Ambiental (Parques, Reservas, etc.), nos quais podem existir riscos de incêndios associados a queimadas em regiões limítrofes, mas também onde os próprios potenciais turísticos que apresentem as unidades de conservação geram necessidades de proteção, por serem elemento de atração para visitantes autorizados.

- **Avaliações complexas**

Em contraste com as chamadas avaliações diretas, feitas sobre os dados originais constantes do inventário ambiental, podem existir avaliações ditas complexas, isto é, que usam uma ou várias avaliações prévias como base para sua construção. Podem se referir ao cotejo de uma avaliação contra um dado básico, ou mesmo reproduzir o resultado do confronto entre as expressões territoriais de avaliações previamente elaboradas. Exemplos destas avaliações complexas são apresentados a seguir.

- **Incongruências de uso**

Incongruências de uso dos recursos ambientais disponíveis podem ser reveladas pelo confronto dos mapeamentos de uso da terra com mapas avaliativos de um potencial. É o caso do lançamento de um mapa de potencial (ou aptidão) agrícola de uma área contra um mapa que mostre o uso atual da terra, nesta mesma área. O levantamento de incongruências eventualmente existentes (terras de alto potencial não sendo usadas, terras de baixo potencial sendo usadas, por exemplos), é um produto imediato deste tratamento. Analogamente podem ser identificadas áreas onde um potencial de urbanização (possível crescimento de favelas, por exemplo) tem possibilidades de concretizar-se às custas de desmatamentos e invasão de áreas protegidas por lei. Deve ser notado que, no último exemplo citado, foi obtida uma capacidade de previsão, indispensável como apoio à decisão quanto a medidas preventivas.

Um caso de avaliação complexa de algum interesse é o lançamento do potencial turístico de uma área contra o uso da terra nela registrado. Decisões de grande valor econômico podem se basear neste confronto de um potencial com um uso atual da terra. Uma avaliação complexa deste tipo corre o risco de tornar-se um roteiro de exploração desenfreada dos recursos turísticos de uma região. Torna-se necessário que o uso desta informação, relativa às oportunidades econômicas de uma exploração turística seja permitido dentro de um contexto em que outras avaliações complexas estejam disponíveis. Assim sendo, as decisões quanto a empreendimentos turísticos serão também balizadas por outros parâmetros (em particular os de proteção ambiental), e não apenas pelo oportunismo de aproveitar-se do acesso a uma avaliação ambiental complexa, a qual pode basear decisões altamente lucrativas.

Do exposto acima se pode deduzir o grande valor do confronto entre mapas de Uso Atual da Terra (por simplificação UT) com mapeamentos de Potenciais (por simplificação POT). Assim sendo, em um esforço didático de sistematização, pode-se dizer que confrontos POT x UT definem incongruências de uso e oportunidades econômicas, entre outros resultados. A Figura 2 mostra, diagramaticamente, a identificação de incongruências de uso. Deve ser notado que, na figura mencionada, é retratada uma situação simplificada, com duas instâncias de qualificação do potencial sendo lançadas contra um único uso. Quando aplicado a situações reais, este procedimento de investigação pode revelar diversos níveis de incongruência, segundo os diversos níveis de potencial que sejam considerados, e sua aplicação sucessiva a diferentes usos da terra pode resultar em um mapa de incongruências relativamente complexo.

APTIDÃO AGRÍCOLA PARA CANA X USO ATUAL

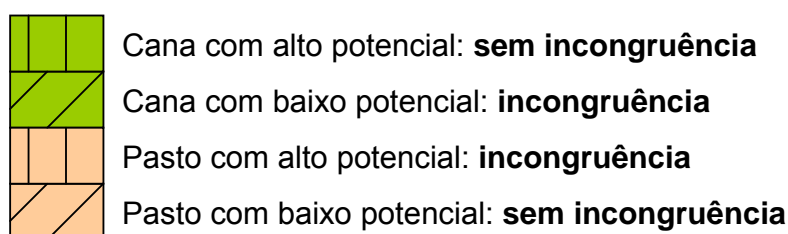
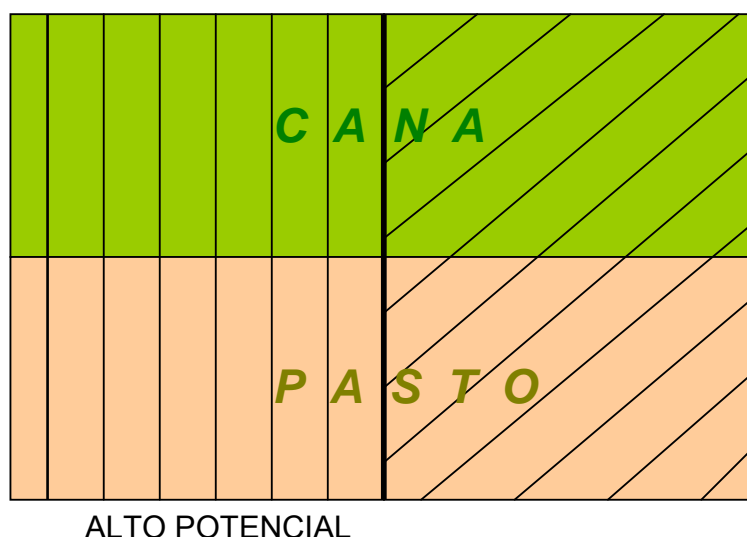


FIGURA 38

INCONGRUÊNCIAS DE USO

- **Potenciais conflitantes**

Conforme indicado pelo próprio sub-título, trata-se, neste caso, do confronto entre mapeamentos avaliativos de potenciais. É esperado que destes cotejos surjam, pelo menos, duas classes de áreas: as conflitantes e as não conflitantes (podendo também ser identificados níveis de conflito intermediários). A Figura 39 mostra, de maneira simplificada, o resultado de uma situação de conflito de potenciais. Este confronto sinaliza quanto a prejuízos mútuos para os potenciais considerados e pode indicar também o nível destes prejuízos. Da análise deste tipo de mapa de confronto emanam, muitas vezes com clareza meridiana, as necessidades de conciliação dos potenciais ambientais. Decisões de valor econômico e de caráter prospectivo podem surgir deste confronto. O apoio à decisão quanto à premência e localização de obras de infra-estrutura pode ser gerado da análise destes mapas. As medidas criadas para superação ou minimização dos efeitos destes conflitos de potenciais podem ser denominadas *normas de manejo ambiental* e as áreas geográficas onde se apliquem podem denominar-se *unidades de manejo ambiental*. Estas normas e unidades de manejo ambiental, que também podem ser criadas a partir dos outros procedimentos analíticos aqui apresentados, podem ser paulatinamente identificadas ao longo da análise ambiental em andamento, vindo a constituir-se nos elementos básicos para a criação organizada de um planejamento ambiental. Neste caso, ter-se-á uma coleção de áreas e normas constatadas ao final da análise empreendida, as quais podem vir a ser cotejadas entre si, priorizadas e integradas no planejamento ambiental.

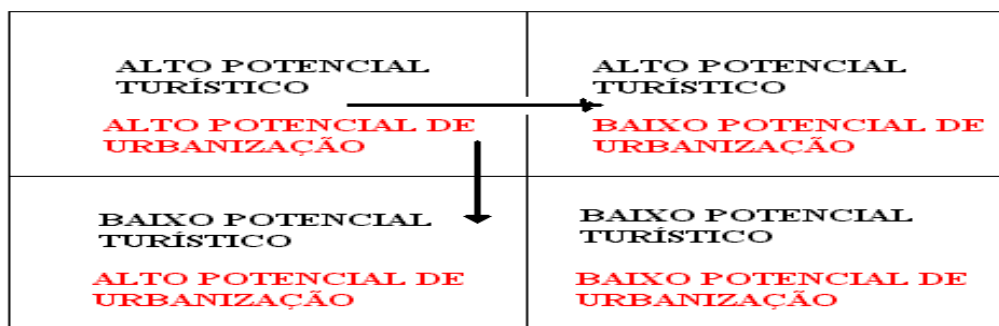


FIGURA 39 **POTENCIAIS CONFLITANTES**

Como exemplo de conflito entre potenciais ambientais pode ser apresentada a Região dos Lagos Fluminense, onde não tem havido a conciliação do Potencial de Urbanização com o Potencial Turístico. É uma região de fácil urbanização por sua topografia, pela ocupação humana antiga, à qual sempre esteve associada uma rede viária, e relativamente próxima à cidade do Rio de Janeiro. Estas características indicam seu Potencial de Urbanização. Loteamentos extensos e numerosos ocorrem nesta região, com turismo em fins de semana e durante as férias escolares, tendo por atrativos seus lagos e praias. Para esses loteamentos não foram criadas condições adequadas de abastecimento de água, rede de esgotos e outros elementos de infra-estrutura urbana, daí resultando a poluição das lagoas e praias, com prejuízo imediato para o próprio Potencial Turístico.

Outros exemplos de potenciais conflitantes podem ser apresentados. É o caso do Potencial de Urbanização x Potencial Agrário, conflito que tem originado o desaparecimento dos cinturões-verdes em torno de grandes núcleos urbanos, pelo crescimento de loteamentos de caráter especulativo. Conflitos entre Potencial Turístico e Necessidades de Proteção (uma variante de risco) representam um problema particularmente para Unidades de Conservação Ambiental que apresentem fortes índices de visitação. Nestes casos são requeridas normas de deslocamento humano na Unidade de Conservação e controle rigoroso para que o Potencial Turístico não prejudique as Necessidades de Proteção Ambiental.

A concretização indevida do Potencial Agrário de uma área que esteja submetida à Legislação de Proteção Ambiental (tendo neste caso necessidades de proteção definidas até mesmo por lei) representa um caso muito comum de situação conflitante. Invasões de parques nacionais para criação de gado e atividades agrícolas são fatos comuns. A delimitação e a fiscalização dessas ocorrências depende de mapeamentos que indiquem, por confronto, quais os locais em que o Potencial Agrário atrai a ocupação econômica e prejudica as Necessidades de Proteção.

Outro exemplo de conflito entre Potencial Agrário e Necessidades de Proteção reside na incidência de fronteiras de expansão agrícola sobre áreas de proteção indígena. É óbvia, neste caso, a necessidade de promover a proteção às culturas indígenas com relação à incidência das transformações ambientais de grande porte, normalmente associadas à expansão de fronteiras agrícolas. Este é o caso do sul e leste da Amazônia. Ainda em relação à proteção de áreas indígenas, um dos casos mais flagrantes de conflito entre Potencial de Mineração e Necessidades de Proteção é o da periferia da Região Amazônica brasileira, onde a atividade mineradora tem forçado o contato com grupos indígenas, que tem sua cultura e suas condições de saúde intensa e negativamente afetadas pelo contato com os garimpeiros.

Outro caso de imperiosa necessidade de conciliação é o conflito entre o Potencial Agropecuário e o Potencial de Mineração. A ação mineradora, principalmente a de céu aberto, é notoriamente a destruidora do solo agrícola e seus efeitos podem não se restringir a isto, sendo comum a poluição de recursos hídricos.

São numerosos os casos de mineração desordenada executados no país, sendo exemplo a extração de areia para construção nos terrenos aluviais das baixadas do Sudeste Brasileiro.

Evidentemente outros casos de conflito de potenciais podem ser divisados. Este tipo de confronto é muito rico quanto a informações territorializadas, permitindo a definição de áreas a serem objetos de normas específicas de Manejo Ambiental, ou seja, à criação e implementação de estruturas de fiscalização e controle ambiental.

- **Áreas críticas**

O confronto entre mapas de uso e estimativas de riscos ambientais permite a definição de áreas com diferentes níveis de ocorrência simultânea de riscos e de usos da terra específicos. A Figura 40 mostra a identificação de áreas críticas, mais uma vez de maneira simplificada. Por exemplo, trata-se de uma área crítica quando um local com forte potencial de urbanização se apresenta com riscos de enchentes. Como esses riscos se concretizam episodicamente, é comum que urbanizações desordenadas (favelas) se verifiquem em locais sujeitos a enchentes esporádicas, com os efeitos catastróficos conhecidos (perdas materiais e de vidas humanas de toda ordem e eclosão de epidemias são exemplos).

Outro caso comum nas cidades brasileiras, análogo ao da urbanização em áreas sujeitas a enchentes, é o da ocupação de encostas, por favelas, em áreas com riscos de desmoronamentos e deslizamentos. Também neste caso, o efeito é perverso pelo caráter relativamente esporádico dos desmoronamentos e deslizamentos. A definição de áreas críticas quanto ao potencial agrário x riscos de erosão dos solos é um caso em que o caráter crítico do problema pode ficar mascarado pela natureza paulatina do processo de esgotamento dos solos agrícolas. Os efeitos definidos por este confronto entre potencial agrário e riscos de erosão dos solos podem, no entanto, ser estimados antecipadamente. Definidas previamente as áreas críticas, medidas de manejo e proteção do solo agrícola podem ser preconizadas e implementadas.

Outro caso de definição de áreas críticas refere-se ao confronto entre Necessidades de Proteção Ambiental e Riscos de Poluição. A poluição pode ser um processo paulatino e sub-reptício. Entretanto, a previsão da possível ocorrência dessas áreas críticas pode ser apoiada no geoprocessamento através do confronto entre os mapas citados, para a identificação de entidades poluidoras (pela localização e distribuição geográfica dos agentes poluidores) e conseqüente criação de normas eliminadoras e/ou mitigadoras da ação poluente. Riscos de poluição podem ser cotejados contra o potencial de recursos hídricos de uma área (água superficial e subterrânea), assim como contra aproveitamentos econômicos do tipo pesca artesanal e comercial. Em todos esses casos de riscos de poluição, o apoio à decisão quanto à criação de normas de manejo ambiental é praticamente imediato, com base na definição de áreas críticas onde a poluição possa incidir sobre locais a serem protegidos.

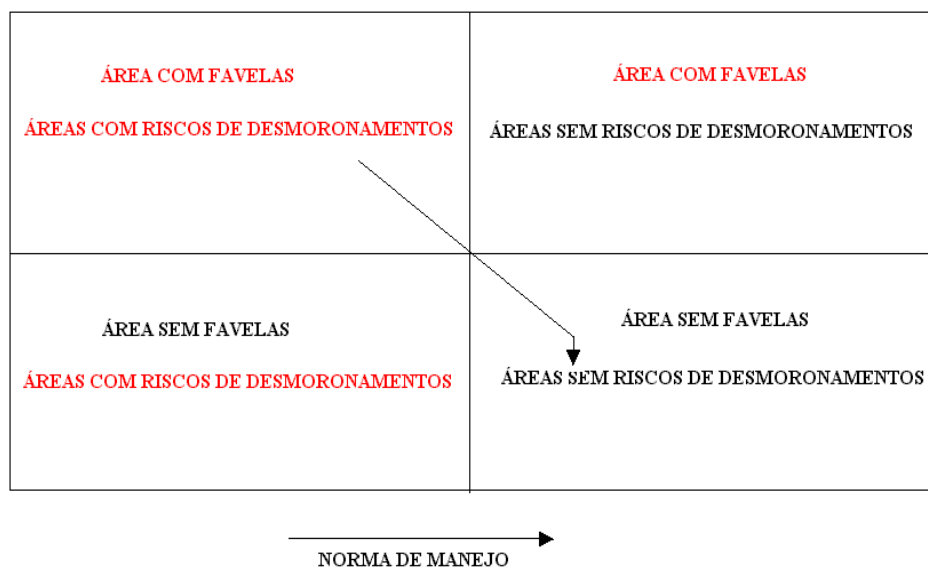


FIGURA 40

ÁREAS CRÍTICAS

- **Impactos ambientais**

Um caso particular de avaliações complexas, mais abrangente do que os anteriormente apresentados, é o das estimativas de impacto ambiental por geoprocessamento. Trata-se de um procedimento que considera diversos aspectos convergentes do ambiente, de forma integrada, usando para isto a estrutura de avaliações ambientais complexas, apresentada anteriormente. Um tipo de área de riscos ambientais, como por exemplo locais sujeitos a enchentes, pode ser considerada como uma condição ambiental limitante à concretização de um potencial ambiental (a urbanização por exemplo). A conjugação das duas avaliações citadas - Riscos de enchentes e Potencial de urbanização – torna-se definidora de locais onde a urbanização poderá ocorrer sem riscos de enchentes e, também, de locais desaconselhados para a urbanização, tendo em vista a condição limitante de serem locais sujeitos a enchentes. Estes locais, que poderiam ser propícios à urbanização, se enchentes neles não ocorressem, representam os limites da urbanização, mantidas as condições ambientais vigentes.

Analogamente ao exemplo de enchentes, a conjugação do mapa de potencial de urbanização com outras condições ambientais limitantes (riscos de desmoronamentos, potenciais turístico e agrícola, necessidades de proteção a unidades de conservação ambiental) podem gerar um quadro geográfico em que fica estimada a possível repercussão da incidência do processo de expansão urbana sobre o ambiente. Terá, portanto, caráter prospectivo se for a estimativa dos impactos (setoriais e conjunto) for realizada com base em condições futuras estimadas. Se for executada sobre uma urbanização desrespeitadora já executada, a investigação tem um caráter retrospectivo e avaliador do impacto negativo verificado. Prospectiva ou retrospectivamente, o procedimento gera uma estimativa do

impacto da urbanização sobre as condições físicas, bióticas e sócio-econômicas do ambiente. A Figura 41 mostra diagramaticamente as incidências de um processo altamente impactante – o crescimento urbano – sobre condições limitantes que, uma vez não respeitadas, podem fazer com que sua urbanização desavisada traga efeitos onerosos, perversos e duradouros para a administração municipal, efeitos estes que podem ser retrospectivamente computados e/ou prospectivamente estimados.

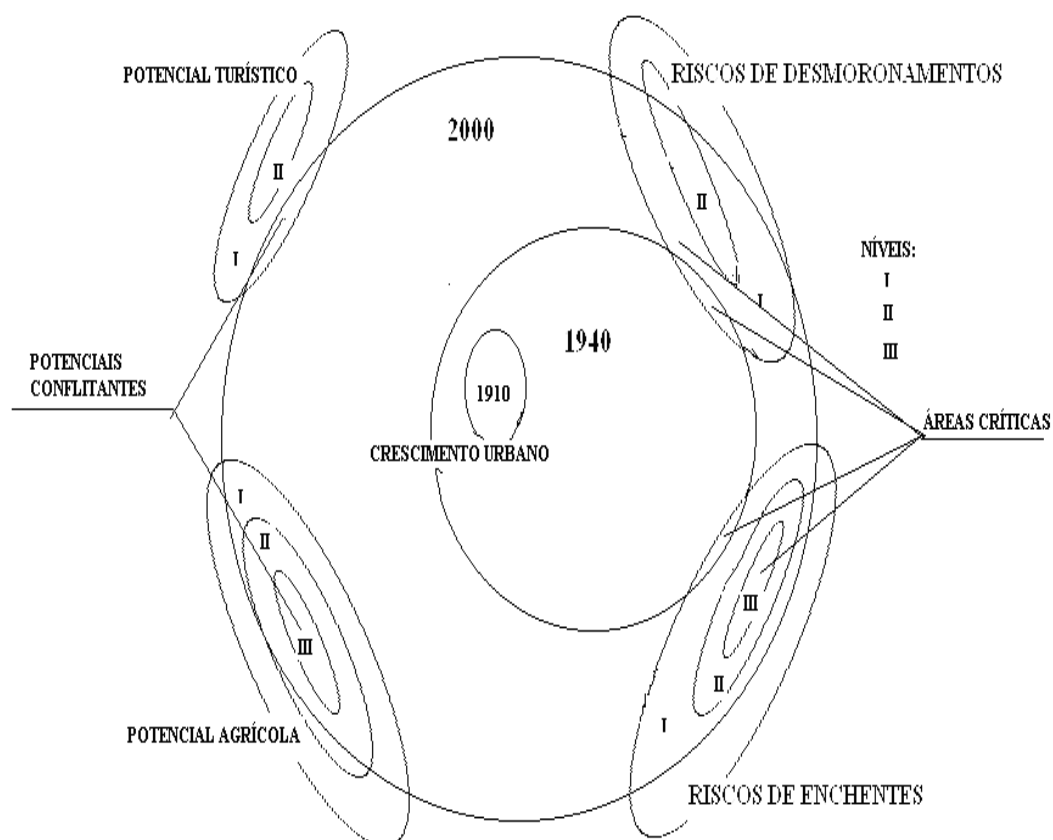


FIGURA 41

IMPACTO AMBIENTAL

Questões relevantes para o planejamento e a gestão do ambiente são diretamente respondidas, em termos qualitativos e quantitativos (extensão territorial), prospectivamente ou em retrospecto, por este procedimento de estimativa de impacto ambiental:

- identificação da ação impactante (o que ?);
- definição dos locais sob impacto (onde ?);

- sobre que características limitantes ocorre o impacto (sobre o que ?);
- em que extensão ocorre o processo impactante (áreas afetadas ?);
- em que níveis de intensidade ocorre o impacto (importância ?) ;
- em que fases ocorreu ou virá a ocorrer o impacto (quando e como ?);
- estimativas de custo de ações mitigadoras/eliminadoras passadas ou futuras (quanto ?);
- unidades e normas de manejo propostas (como mitigar ou eliminar ?)

Sérios desequilíbrios ambientais podem derivar da incidência de processos ambientais (urbanização, expansão de fronteiras agrícolas, desenvolvimento de áreas de mineração) sobre condições limitantes do ambiente. A diagnose do nível destes desequilíbrios, em termos de geoprocessamento, conforme exemplificado acima, pode se basear na definição dos impactos setorializados do processo sobre as diferentes condições ambientais que são limitantes de sua expansão territorial. A incidência do processo pode ser medida contra riscos, outros potenciais ou aptidões, e necessidades de proteção ambiental, que tenham sido diagnosticados anteriormente. Isto corresponde a definir impactos setorializados sobre o ambiente. Em seu conjunto, estes impactos setorializados retratarão tipos, intensidades, localizações, extensões e conexões do impacto ambiental sob análise, em suas diferentes facetas. Este conjunto é o impacto geral do processo estudado sobre o ambiente. Uma forma de estimar este impacto geral é apresentada a seguir.

Os impactos setorializados do potencial de urbanização podem ser obtidos através do cotejo sucessivo dessa estimativa quanto a diversos mapeamentos de riscos, outros potenciais, necessidades de proteção e mesmo contra a ocorrência de uma cobertura vegetal a ser protegida (a Mata Atlântica, por exemplo). O impacto geral, conjunto, pode ser estimado atribuindo-se "pesos" aos impactos setorializados e "notas" às respectivas classes de cada um deles, segundo uma estrutura de média ponderada como a referida anteriormente neste texto. Pode ser criada, assim, uma árvore de decisão.

Todas as avaliações, simples ou complexas, devem passar por um processo de calibração. Estimativas devem ser comparadas com registros de ocorrência real do fenômeno estimado, usando-se a informação oriunda deste cotejo como calibradora da avaliação feita. No caso do uso da média ponderada, outros pesos e notas podem ser experimentados. Sucessivas aproximações podem vir a ser executadas, em procedimento iterativo e interativo, com o qual se proceda ao ajuste das avaliações à realidade ambiental. Cuidado deve ser exercido sobre esta calibração para que não se torne um mero exercício idiográfico e idiossincrático, pela excessiva busca de aderência do modelo digital a uma realidade, para a qual o modelo pode não estar suficientemente instrumentado pelos dados ou mesmo pelo procedimento analítico adotado.

O presente item, até o momento, referiu-se a diagnoses, ou seja, a constatações de realidades ou potencialidades, uma vez que riscos e potenciais são estimativas. Tratou-se, assim da identificação de locais onde ocorre realmente o fenômeno estimado ou do levantamento de locais de sua possível ocorrência. Em todas estas identificações de ocorrências, verificadas ou possíveis, estão definidas propriedades espaciais de altíssimo interesse como apoio à decisão: a localização, a extensão territorial do fenômeno, a evolução desta extensão territorial. Relações de proximidade (contigüidade) e de conexão

podem ter sido reveladas, permitindo inferências causais. Todo este conjunto informativo (não apenas de dados) constituirá a base para os procedimentos de prognose ambiental, apresentados a seguir.

11.4. PROCEDIMENTOS PROGNÓSTICOS

Procedimentos de prognose ambiental têm, necessariamente, que basear-se em elementos oriundos de análises da situação estudada, ou seja, em diagnósticos ambientais. As exposições feitas acima se referem a procedimentos básicos de diagnose ambiental e o texto a seguir procura conceituar procedimentos de prognose ambiental.

O conceito de prognose ambiental apresenta numerosas facetas. É um conjunto de procedimentos de pesquisa que permite a proposição de medidas de gestão ambiental (planejamento), sendo baseado em condições diagnosticadas e previstas para uma determinada extensão territorial. Está implícita no termo uma capacidade de antevisão, que pode traduzir-se no equacionamento de possíveis situações ambientais problemáticas, para as quais podem ser preconizadas medidas de controle ambiental, através da aplicação de procedimentos específicos à determinadas áreas geográficas. A prognose ambiental pode também associar conjuntos de decisões externas (política ambiental) aos problemas ambientais e preconizar, à luz dos recursos disponíveis, etapas ou fases de operação componentes de um plano de controle que se destine à gestão ambiental, plano este guiado pela política ambiental adotada.

Sistemas Geográficos de Informação e as técnicas de geoprocessamento informam a prognose ambiental, permitindo simulações, criação de cenários prospectivos, investigação de interações entre entidades, operando sobre condições objetivas para a definição de normas de manejo ambiental a serem aplicadas em unidades territoriais (unidades de manejo ambiental) e criando segmentações territoriais (zoneamentos), segundo critérios especificados e reproduzíveis. A adoção desta metodologia/tecnologia propicia, assim, a formulação de planejamentos territoriais baseados no conhecimento da realidade e não apenas nos preconceitos e interesses de planejadores de visão unilateral e grupos econômicos interessados. Ficam minimizadas, desta forma, as probabilidades de criação de planos de gestão territorial mirabolantes, gerados com base em afirmações pouco ou não documentadas, oriundos de meras denúncias repetitivas da ocorrência de problemas ambientais na área a ser gerida, denúncias estas que se tornam “cavalos encilhados” a serem montados por uma horda de oportunistas ávidos por notoriedade.

Serão feitas, a seguir, muitas considerações e apresentações sistematizadas sobre conceitos mencionados nos dois parágrafos acima, os quais, se espera, induzam o leitor a refletir sobre planejamento e gestão de ambientes.

Não serão considerado a seguir todos os procedimentos de geoprocessamento relevantes para a análise ambiental, o planejamento e a gestão territoriais. A apresentação se restringirá aos procedimentos com os quais o autor tem tido maior contato, e as

considerações visam mais levantar discussões do que resolver os problemas de geoprocessamento aplicado à análise da organização espacial.

11.4.1 SIMULAÇÕES

Um inventário ambiental enriquecido com informações sobre a evolução de situações (Monitoria), acompanhado de estimativas (Avaliações) oriundas do conhecimento analítico dos processos ambientais envolvidos e também originados de conhecimentos empiricamente adquiridos (Assinaturas), pode ser entendido como um modelo digital do ambiente (XAVIER-DA-SILVA, 1982; XAVIER-DA-SILVA E CARVALHO-FILHO, 1993) que não se restringe a uma representação digital de mapas temáticos. Este modelo complexo tem um valor agregado que é proporcional à qualificação e capacidade profissional de seus geradores. Árvores de decisão (BONHAM-CARTER, 1986) as mais complexas, interligadas em conjuntos de estimativas sobre variados aspectos da realidade ambiental. Estas árvores e outros procedimentos exploratórios podem gerar o acervo de conhecimentos – *informação* – que compõe um ambiental, podem constituir este modelo digital da realidade ambiental.

Em modelos complexos como o acima delineado é possível introduzir características ambientais fictícias. Estas características hipotéticas podem ser colocadas em interação com as características reais através de novas avaliações que as incluam. Mensurações sobre as modificações trazidas pela presença das condições fictícias podem ser executadas sobre os resultados assim obtidos. A diminuição da extensão de áreas de risco, deslocamentos de posição destas áreas para locais menos problemáticos, o crescimento de áreas de aptidão ambiental para determinadas atividades (agricultura, por exemplo), poderão ser mapeadas. Serão estimados, assim, os efeitos das características fictícias, dentro do modelo digital, em uma situação de sinergia. É o caso, por exemplo, da criação de uma rede viária fictícia como um suposto parâmetro contido em uma base de dados, para verificação dos efeitos da rede simulada sobre a acessibilidade e o valor dos terrenos nela retratados.

Um caso de simulação um pouco mais elaborada pode compreender a geração de uma superfície de atrito. Esta superfície pode ser obtida por uma avaliação ambiental do tipo apresentado em parágrafos anteriores. Pode ser entendida como um mapeamento das dificuldades e facilidades de deslocamento, reais ou simuladas, associadas à expansão territorial de algum processo ambiental. Esta é produzida pela atuação múltipla e conjugada de diversas características ambientais base de dados geocodificada. Esta superfície pode ser usada para ponderar a capacidade de expansão, real ou simulada, de pontos escolhidos em uma área, dentro de um procedimento de zoneamento (a ser considerado adiante). Ainda sobre esta superfície de atrito podem ser aplicados algoritmos definidores de trajetórias minimizadoras e maximizadoras da oposição oferecida pelo ambiente ao deslocamento de uma entidade (um vetor de moléstias, por exemplo). São evidentes as aplicações de simulações deste tipo em epidemiologia, locação de centros de serviços e definição de zonas geográficas de efetiva influência de um ponto contido na base de dados.

Um outro procedimento de simulação sobre modelos digitais do ambiente merece consideração, particularmente, por gerar elementos de comparação que o colocam como uma espécie de análise custo x benefício. Trata-se do uso de árvores de decisão como um instrumento de análise da importância relativa de parâmetros usados na sua construção. A Figura 42 é uma árvore de decisão que mostra a integração de estimativas de riscos de ocorrência de dengue utilizando várias características ambientais, de cunho natural, geo-histórico e sócio-econômico.

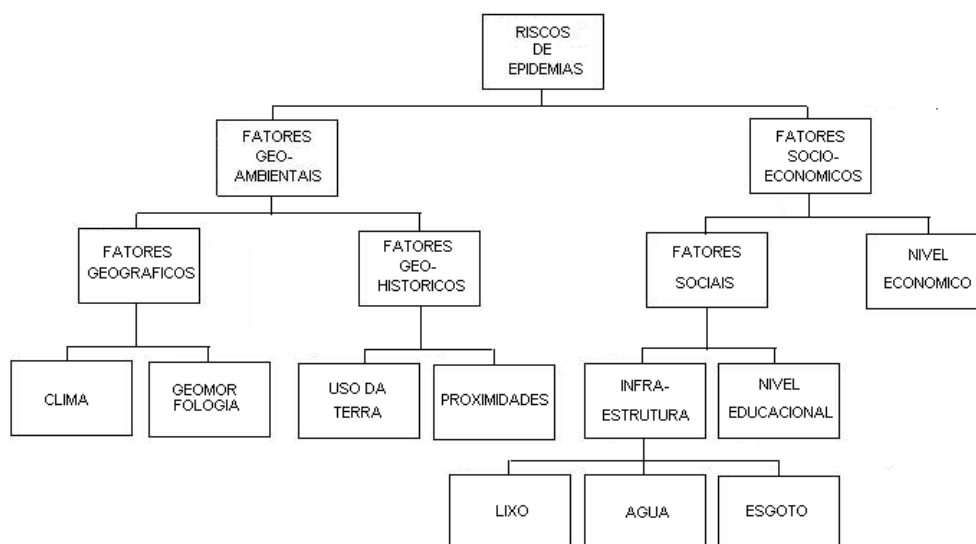


FIGURA 42 **ÁRVORE DE DECISÃO E SIMULAÇÕES**

Do funcionamento desta estrutura lógica de análise resultariam, a cada iteração, mapas finais que mostram, por motivos didáticos de clareza, apenas duas categorias: áreas propícias e não propícias à dengue. O mapa 1 registra a estimativa baseada em uma situação o resultado do funcionamento da mesma árvore, com uma diferença: hipoteticamente, todas as moradias passaram a ter água encanada (os custos e o tempo podem ser estimados). O resultado da avaliação, contendo a modificação hipotética, está representado no mapa em termos de um aumento da área não propícia à dengue. O resultado do funcionamento da mesma árvore de decisão, neste caso com todos os moradores tendo sido alfabetizados (custos e tempo da campanha educacional também podem ser estimados). Para efeitos de comparação, o resultado respectivo também é representado em termos de aumento da área não propícia à dengue. A comparação entre os mapas 2 e 3 permite aquilatar, em princípio, qual das respectivas modificações simuladas foi mais efetiva na eventual geração de novas áreas não propícias à dengue.

Aprimoramentos podem ser facilmente introduzidos neste procedimento de simulação, permitindo, além da comparação de custos de construção de redes de

abastecimento de água contra os custos da estruturação e realização de campanhas de alfabetização, associações entre prazos de execução de obras e campanhas, fontes e desembolso de financiamentos atuais e futuros, e ocorrência de eventos relevantes, como eleições vindouras. Simulações múltiplas podem ser comparadas e consideradas de forma conjugada, com os respectivos custos estimados e os eventuais benefícios computados sinergicamente e sendo os resultados territorialmente representados nos mapeamentos de avaliação padronizados. Benefícios podem ser contabilizados em diversos níveis (não apenas em termos da situação binária do exemplo), permitindo avaliações com um padrão de refinamento adequado à complexidade de situações ambientais. O procedimento de Avaliação por Critérios Múltiplos (ACM; em inglês, MCE), tradicionalmente considerado em termos de uma estrutura de análise restrita a uma avaliação isolada de um risco ou potencial ambiental (BEEDASY E WHYATT, 1999), é consideravelmente expandido com o procedimento acima explicitado, o qual considera e compara várias alternativas associadas à situação ambiental sob análise, gerando resultados mapeados e diretamente comparáveis. Se cada um dos custos e tempos de execução relativos a cada alternativa forem conveniente e eficazmente explicitados, configura-se um quadro de apoio à decisão de inquestionável valor.

A simulação com modelos digitais do ambiente além de ser um instrumento de planejamento e gestão territorial para entidades governamentais encarregadas da inspeção e definição de alternativas de traçado de redes viárias e de esgotamento sanitário, pode ser usada por entidades particulares no planejamento de vendas em uma determinada circunscrição territorial, por permitir o cotejo de diversificadas alternativas de investimento (campanhas publicitárias versus criação de novos pontos de venda, por exemplo). De todas as formas, os procedimentos de simulação do tipo aqui apresentado, quando conduzidos com bom senso e interpretados com cautela, constituem um inestimável elemento de apoio a decisões específicas e podem compor um conjunto informativo essencial ao planejamento e gestão ambientais.

11.4.2. CENÁRIOS AMBIENTAIS

Cenários prospectivos englobam e transcendem as características da simulação, podendo dela, no entanto, receber ponderáveis subsídios. Representam uma situação ambiental previsível para uma ocasião definida, se seus fatores condicionantes tiverem a prevalência esperada. Baseiam-se, portanto, em premissas e representam situações decorrentes da adoção dessas premissas. É o caso, por exemplo, de um cenário de forte degradação ambiental em muitas porções periféricas da Amazônia Brasileira, em cerca de uma década. Esta degradação para seus habitantes e freqüentadores.

11.4.3. Normas e unidades territoriais de manejo ambiental

É uma suposição razoável que, após a realização de assinaturas ambientais, planimetrias dirigidas, monitorias de alterações ambientais, avaliações de diversos tipos, simulações e cenários prospectivos sobre uma base tenha sido gerado um corpo de conhecimentos considerável, abrangente e detalhado, a partir das características estáticas e dinâmicas da área geográfica estudada. Muitas normas de utilização dos recursos

disponíveis podem ter sido emanadas dos procedimentos mencionados. É o caso de sugestões quanto ao uso da terra, à proteção ambiental, ao direcionamento de expansão urbana e muitas. Uma *norma de manejo ambiental* (NMA) é, portanto, um conjunto de procedimentos preconizados para a ocupação de uma determinada área, visando disciplinar a utilização dos recursos ambientais nela disponíveis. Além da proposição de normas de manejo ambiental, a conjugação de diferentes tipos de informação ambiental para uma determinada área pode permitir sua caracterização como uma *unidade de manejo ambiental* (UMA) (XAVIER-DA-SILVA, 1978). Estas entidades constituiriam uma extensão territorial onde seriam constatadas aptidões múltiplas, ou onde ocorrem ou podem vir a ocorrer problemas peculiares, nas quais se espera ocorram "comportamentos" específicos das variáveis ambientais.

A criação de NMAs e a identificação de UMAs não devem ser entendidas como um processo acabado, mas como uma síntese restrita quanto aos objetivos de manejo ambiental visualizáveis numa determinada ocasião. Portanto, NMAs e UMAs são entidades limitadas territorialmente e dependentes das variáveis envolvidas e dos problemas percebidos durante a investigação ambiental. São úteis para identificar situações ambientais especiais. São exemplos a identificação de áreas a serem propostas como unidades de conservação ambiental ou como territórios indígenas, e a definição de zonas onde ocorram problemas geopolíticos ou de defesa do território nacional.

UMAs podem vir a ser integradas em uma estrutura de zoneamento territorial que venha a ser criada para a região onde ocorram e representar um papel relevante na própria criação do zoneamento, por sua importância intrínseca. Os exemplos acima citados são, em princípio, emblemáticos. Por esta possibilidade de inserção posterior em estruturas de planejamento e gestão territorial, UMAs não devem ser criadas leviana e abusivamente, para que não seja desgastado seu valor lógico e programático. Infelizmente, no Brasil, tem ocorrido o recurso excessivo a este procedimento de identificação de áreas especiais, em particular através da proposição de inumeráveis e variadas unidades de conservação, para as quais o poder público não atribui os recursos necessários à sua fiscalização, e que passam a constituir exemplos de tolerado desrespeito à lei.

11.4.4. POTENCIAL DE INTERAÇÃO

Uma das situações ambientais que merecem maior atenção refere-se à análise de interações que se verificam entre eventos ou entidades distribuídos no espaço geográfico. Correlações entre entidades ou eventos podem ser pesquisadas a partir de variáveis registradas nas escalas de intervalo e razão através da inspeção de matrizes de correlações paramétricas (coeficiente de Pearson), uma vez normalizados ou padronizados os valores das variáveis obtidas. Posições hierárquicas ("*ranks*") de eventos ou entidades, estabelecidas para cada variável, permitem cálculos de coeficientes de correlação não paramétricos (coeficiente de Spearman) entre os fenômenos ambientais considerados. Estes procedimentos, de certa maneira clássicos, de análise de eventos e entidades ambientais e de seus relacionamentos não leva em conta sua distribuição espacial. Existem outras estruturas de análise que consideram o elemento posição geográfica das entidades envolvidas. É o caso do uso de uma variante do modelo gravitacional tradicional, capaz de

definir o que se denomina, no presente texto, *potencial de interação*. Formalmente este procedimento exploratório pode ser assim formulado:

$$(PI)_i = (M_i / D_{ij}) + M_i / \min (D_{ij})/2$$

Onde:

(PI)_i = Potencial de Interação da entidade “i”;
M_j = Massa da entidade “j”;
D_{ij} = Distância entre as entidades “i” e “j”;
n = número de entidades envolvidas;
M_i = Massa da entidade “i”;
Min (D_{ij})/2 = metade da menor das distâncias D_{ij}.

As seguintes observações podem ser feitas:

- o somatório abrange as entidades de j=1 até n, com exclusão da entidade “i”, considerada em separado, fora do somatório;
- a massa da entidade “i” é dividida, por convenção, pela metade da menor distância entre entidades encontrada na análise;
- o termo “massa” deve ser entendido como a quantidade de qualquer variável que seja indicadora da presença da entidade considerada. Pode ser população, percentagem de alfabetizados, número de telefonemas interurbanos, depósitos bancários, disponibilidades de crédito, entre outras. Como se trata de um procedimento exploratório, diversos tipos de variáveis podem ser considerados e os resultados obtidos para cada um deles podem ser comparados;
- analogamente, o termo “distância” pode significar qualquer medida do afastamento entre as entidades: em linha reta, ao longo da rede viária, distância-tempo, distância-custo, ou mesmo uma distância idiossincrática, isto é, um afastamento associado a diferenças étnicas, econômicas ou sociais;
- o algoritmo acima, em síntese, quando aplicado sobre uma base georreferenciada, permite uma série de investigações, a saber:
 - inicialmente poderão ser computados os potenciais de interação para todas entidades consideradas, gerando valores para a posição geográfica de cada uma delas. Mapas de isolinhas podem ser gerados a partir destes valores distribuídos pelo espaço geográfico, criando-se, assim, uma superfície de interação, a qual pode ser objeto de análises comparativas entre suas partes diferenciadas e a distribuição geográfica de outros parâmetros, o que pode trazer informação sobre relacionamentos relevantes;
 - - o procedimento pode ser colocado em funcionamento iterativamente, para gerar estimativas do crescimento de massa necessário para que uma determinada entidade se transforme em primeira colocada da rede analisada, em termos de potencial de interação;
 - - também com o procedimento atuando em caráter iterativo, pode ser calculada a taxa de variação necessária para a ascensão de qualquer das entidades ao primeiro lugar da rede, em termos de potencial de interação;

- distâncias em linha reta, ao longo de vias de transporte, distâncias-custo, distâncias-tempo e distâncias idiossincráticas podem ser calculadas e automaticamente associadas pelo algoritmo do Potencial de Interação acima enunciado. Alternativas complexas de deslocamentos entre as entidades sob análise podem assim ser comparadas. Os Potenciais de Interação gerados a partir de cada alternativa, uma vez mapeados, usados para a geração de superfícies de interação e analisados, poderão propiciar importantes ilações sobre a natureza e a intensidade dos relacionamentos entre as entidades ambientais analisadas;

- por último, cumpre notar um aspecto da maior importância. O procedimento apresentado considera um elemento fundamental no relacionamento entre entidades representadas em um território: o fator *posição geográfica* (vide Figura 43). Análises de alternativas de posicionamento dos locais de interação podem ser executadas e, se um procedimento de varredura for corretamente implementado, é possível definir locações preferenciais associadas a valores altos de Potencial de Interação.

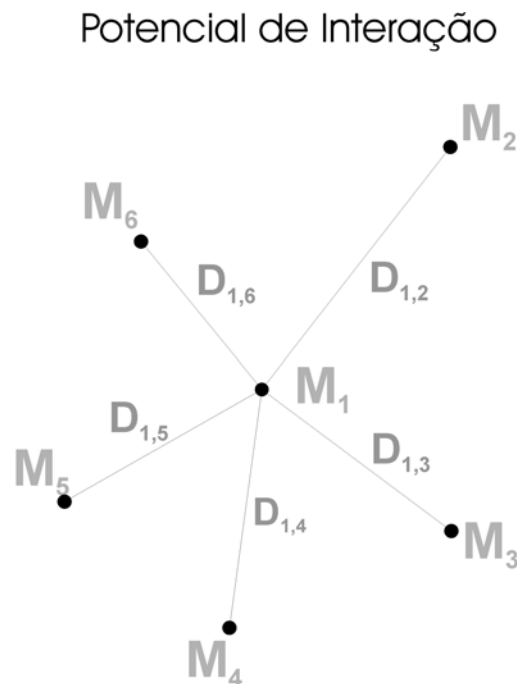


FIGURA 43

POTENCIAL DE INTERAÇÃO

11.4.5. POLÍGONOS DE VORONOI

Um polígono de Voronoi (também conhecido como de *Thiessen*) pode ser formalmente definido como constituído por pontos “x”, tal que:

$$\text{Pol}(g_i) = \{x \in \mathbb{R}^2 \mid \text{dist}(x, g_i) \leq \text{dist}(x, g_j), \forall g_j \in G - g_i\}$$

Onde:

Pol (g_i) = polígono referente ao ponto gerador " g_i ";

x = ponto pertencente a uma região do espaço \mathbb{R}^2 ;

dist (x, g_i) ou (x, g_j) = distância entre dois pontos pertencentes à região, o segundo sendo ponto gerador de polígono;

$G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ = (conjunto de pontos geradores); vide Figura 44

Polígono de Voronoi Simples

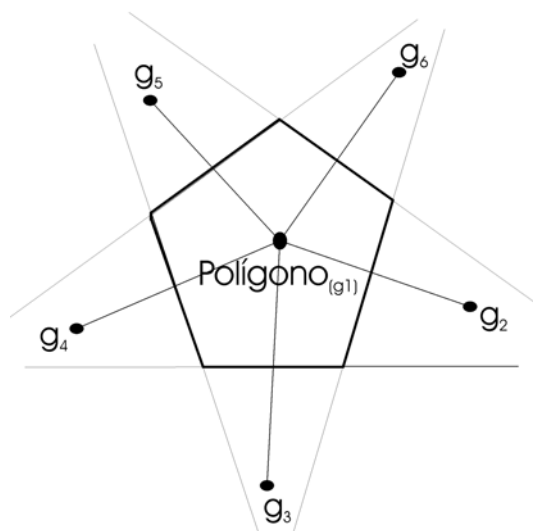


FIGURA 44

POLÍGONO DE VORONOI

Em termos de geoprocessamento, a região do espaço \mathbb{R}^2 sob análise pode ser entendida como uma matriz de células, na qual foram definidos “n” pontos geradores (correspondentes aos pontos geradores do conjunto G , definido acima). Considerando que a característica fundamental de um polígono de Voronoi é a de ser constituído por pontos que estão mais próximos de seu ponto gerador do que de qualquer outro ponto gerador, para sua criação, em termos computacionais, pode ser mensurada a distância de cada célula da matriz até cada ponto gerador, sendo sua pertinência a um polígono definida pela menor destas distancias. Esta relação pode ser considerada inversa, uma vez que o cotejo das distâncias computadas definirá, pela menor distância encontrada, a pertinência a um dos polígonos em construção, conforme declarado acima. Em consequência, ao final da verificação das pertinências (por varredura), todas as células da matriz serão alocadas aos diversos pontos geradores de polígonos de Voronoi. Por este critério reproduzível, fraciona-se toda a região analisada em “n” polígonos irregulares, os quais, rigorosamente, a integram.

É possível modificar o cômputo de um polígono de Voronoi para que passe a considerar outros parâmetros além da distância euclidiana para a definição de pertinência de um ponto a um polígono. Pode-se, assim, deformar ordenadamente o espaço geográfico para que passe a representar, em sua estruturação, as duas tendências que normalmente ocorrem neste processo: a) a organização do espaço segundo a ocorrência de centros de influência – a polarização do território; e b) a presença de características ambientais dominantes, indicadoras das possibilidades da ocupação humana e definidoras de uma certa regularidade paisagística – o conceito de região, zona ou área “homogênea”.

A – A POLARIZAÇÃO TERRITORIAL

A tendência à polarização reflete a presença de entidades ambientais, com seus processos organizadores (as cidades são exemplo imediato, embora não único: grandes empreendimentos industriais e agrários, instalações militares são outros exemplos). Pode ser postulado que entidades ambientais tenham seu poder de organização do espaço geográfico baseado não apenas em sua posição geográfica, mas também como uma dependência direta de sua “massa”, isto é, da característica que melhor indique sua presença, em termos da investigação ambiental em curso, conforme já explicitado na apresentação do Potencial de Interação. Segundo esta perspectiva, o resultado da atuação de diversos centros polarizadores do espaço geográfico, portadores de diferentes massas, é a subdivisão deste espaço em áreas de influência de cada polo, em relação direta com as respectivas massas e em função de suas posições geográficas, gerando-se as respectivas regiões ditas “polarizadas”.

B – AS REGIÕES “HOMOGÊNEAS”

Por outro lado, o caráter dito “homogêneo” de uma área define um conjunto de recursos ambientais disponíveis e também um conjunto de dificuldades para a utilização desta mesma área pela ocupação humana. Esta perspectiva está na base do conceito de região, ou seja uma área à qual pode ser associado um arquétipo, um imagem unitária. Não se trata de negar a diversidade axiomática do espaço geográfico, mas sim de entender este espaço como passível de uma subdivisão segundo características ambientais dominantes. A utilização das condições climáticas e geomorfológicas prevaletentes e das características históricas, econômicas e sociais registradas nas áreas estudadas constituem elementos muito usados na identificação das regiões ditas “homogêneas”, mas que admitem bastante variabilidade interna em suas características ambientais. Sua “homogeneidade” é baseada muito mais no caráter de integração funcional destas características ambientais, que se diferenciam localmente, variando espacialmente segundo uma amplitude aceitável.

Aceitas as premissas acima, referentes aos conceitos de polarização e homogeneidade, pode-se imaginar, como corolário, que áreas geográficas diferenciadas, assim classificadas para alguma finalidade, devem oferecer diversos níveis de resistência (atrito, impedância), à ação da força organizadora dos pólos de estruturação territorial nelas existentes. Ocorre então uma oposição entre forças polarizadoras e as dificuldades e facilidades (estas sendo, talvez, melhor entendidas como menores dificuldades) oferecidas pelo ambiente a estas ações polarizadoras.

Está identificada uma situação dialética na qual o resultado da interação entre dois conjuntos opostos de forças gera uma organização espacial, ou seja, uma distribuição de formas de uso dos recursos ambientais disponíveis – físicos, bióticos e sócio-econômicos. Todo território organizado se apresenta com as marcas desta utilização conflituosa, sendo exemplos, entre inúmeros outros, os aglomerados urbanos, as vias de transporte e as alterações na cobertura vegetal registráveis em qualquer área em utilização pelo homem.

No procedimento de cômputo de Polígonos de Voronoi apresentado neste texto, nada impede o uso de qualquer medida de massa, desde as mais simples às mais sofisticadas. Porém, um dos principais aspectos do uso de polígonos de Voronoi em zoneamentos ambientais reside na escolha de uma medida de massa de alta significação, isto é, que seja portadora de um alto poder diagnóstico diretamente voltado para a organização espacial que esteja sendo estudada. Note-se que não se trata de escolher uma medida de massa apenas representativa do ponto gerador do polígono, mas sim de uma medida capaz de representar sua capacidade de organizar o espaço, definindo sua área de influência.

No sentido acima explicitado, uma medida de massa de grande conteúdo lógico-geográfico é o Potencial de Interação, descrito anteriormente. Se este indicador for usado como medida de massa para obtenção dos Polígonos de Voronoi, isto é, como um dos parâmetros definidores da pertinência a um polígono, expressará uma tendência de polarização complexa, porque a massa do ponto, uma indicação da sua presença no ambiente, já conterà o efeito do fator posição geográfica do ponto em relação à rede de pontos polarizadores. Esta tendência poderá, ainda, apresentar maior complexidade se o Potencial de Interação tiver sido computado a partir de massas e distâncias que não sejam simples em si mesmas (uso de população alfabetizada como massa, de distâncias tempo e de custo – vide o item Potencial de Interação).

Como conclusão parcial, pode-se afirmar que o uso do Potencial de Interação como medida de massa usado no cômputo dos Polígonos de Voronoi permite que o espaço geográfico fique proposital e ordenadamente deformado pela complexa medida de massa do ponto polarizador, que atrairá para sua área de influência, diretamente, segundo o valor de sua massa, os pontos constituintes do território estudado, construindo, assim, o respectivo Polígono de Voronoi, neste caso mais propriamente denominado Polígono de Voronoi Modificado.

Outra ponderação que pode ser feita no cômputo dos Polígonos de Voronoi refere-se à resistência oferecida pelo ambiente à ocupação humana. Ao identificar a pertinência de um ponto a uma área de influência, como é o caso do procedimento em discussão, é possível considerar o atrito ao longo da reta que liga um ponto qualquer ao centro polarizador (este atrito poderia ser medido ao longo de outras trajetórias, como as vias de transporte ou de comunicação). Desta forma pode ser criado um outro indicador que vai representar a atenuação do efeito da massa do polo organizador, mais uma vez em uma relação inversa, e que interage com o efeito da distância euclidiana a ser medida. Este conjunto de variáveis em interação deforma o espaço geográfico e pode ser denominada

força zoneadora. Em uma estrutura *raster* pode ser computada para cada ponto “ G_i ”, e ser geradora do respectivo Polígono de Voronoi Modificado, sendo formalizada como:

$$(FZ)_{Gi} = M_{Gi} / [(D_{x \Rightarrow Gi}) A_{x \Rightarrow Gi}]$$

onde:

$(FZ)_{Gi}$ = Força de Zoneamento do polo Gi ;

M_{Gi} = Medida de massa (Potencial de Interação sendo uma delas) do polo Gi ;

$D_{x \Rightarrow Gi}$ = distância euclidiana entre cada ponto examinado e o polo Gi ; e

$A_{x \Rightarrow Gi} = 1/n (\sum C_k)$

Onde, por sua vez:

n = número de células encontrado na trajetória de $x \Rightarrow G_i$;

C_k = valor do atrito ambiental estimado para cada célula da mesma trajetória.

Em conseqüência da formalização acima, a *Força de Zoneamento* atuará, na construção do Polígono de Voronoi Modificado, diretamente em função das massas dos pontos geradores do zoneamento, e inversamente como função dos efeitos combinados da distância euclidiana e do atrito encontrados nas trajetórias entre os pontos examinados e os centros territoriais de polarização.

Em conclusão, como pode ser depreendido da análise dos dois itens anteriores, a combinação dos procedimentos Potencial de Interação e Polígono de Voronoi para a geração dos Polígonos de Voronoi Modificados é altamente informativa. Esta combinação deve ser executada em caráter exploratório, com variações experimentais nos parâmetros adotados e sucessivas comparações dos resultados obtidos, em termos dos valores numéricos referentes a cada polígono, e também em termos dos mapeamentos realizados. Partições territoriais podem ser assim comparadas entre si e contra a distribuição geográfica de características ambientais complexas (geopolíticas e econômicas, entre outras), o que permitirá novas deduções, conclusões e projeções.

A realidade ambiental, no entanto, é complexa não apenas em termos de características convergentes no tempo e no espaço. A modelagem de situações geográficas orientada para a identificação de relações de causa e efeito requer adequada consideração dos problemas de escala geográfica. Variações de escala no tratamento por geoprocessamento (como é comum com outros tratamentos) permitem diferentes conclusões quanto a fatores causais. Este fato está ligado ao próprio conceito de *região* como elemento de *organização espacial*, tema que será abordado a seguir.