

Contribuições Metodológicas do Geoprocessamento à Geografia

Ana Clara Mourão Moura

Texto originalmente apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia,
Doutorado em Geografia - Geoprocessamento, no ano de 2000

1. Introdução

Da obra de Jorge Luís BORGES (1899-1986) intitulada “O Aleph” (1949), vem o conto “*Os dois reis e os dois labirintos*”. Diz o conto:

*“ (...) nos primeiros dias houve um rei das ilhas de Babilônia que reuniu arquitetos e magos e ordenou-lhes a construção de labirinto tão surpreendente e sutil que os varões mais prudentes não se aventuravam a entrar; e os entravam se perdiam. Essa obra era um escândalo, pois a confusão e a maravilha são operações próprias de Deus e não dos homens. Com o correr do tempo, veio à sua corte um rei dos árabes, e o rei da Babilônia (para zombar da simplicidade de seu hóspede) fez com que ele penetrasse no labirinto, onde vagueou humilhado e confuso até o fim da tarde. Implorou então o socorro divino e deu com a porta. Seus lábios não proferiram queixa nenhuma, mas disse ao rei da Babilônia que ele tinha na Arábia outro labirinto e, se Deus quisesse, lho daria a conhecer algum dia. Depois regressou à Arábia, juntou seus capitães e alcaides e arrasou os reinos da Babilônia com tão venturosa sorte que derrubou seus castelos, dizimou sua gente e fez prisioneiro o próprio rei. Amarrou-o sobre um camelo veloz e levou-o para o deserto. Cavalgaram três dias, e lhe disse: “Oh, rei do tempo e substância e símbolo do século, na Babilônia quiseste que me perdesse num labirinto de bronze com muitas escadas, portas e muros; agora o Poderoso achou por bem que eu te mostre o meu, onde não há escadas a subir, nem portas a forçar, nem cansativas galerias a percorrer, nem muros que te vedem os passos.” Em seguida, desatou-lhes as amarras e o abandonou no meio do deserto, onde ele morreu de fome e de sede.”*¹*

Nas imagens antagônicas do deserto e do labirinto vemos a relação de comunicação: o excesso de redundância do deserto *versus* o excesso de informação (ou ruído) do labirinto. Observa-se, hoje, a passagem de uma fase em que a ausência de dados para a análise espacial ditava os caminhos na pesquisa geográfica, para uma nova fase, em que a possibilidade de gestão de quantidade expressiva de dados não significa, exatamente, ganho de informação. Da dificuldade em obter dados para o excesso de dados, exigindo do pesquisador boa base conceitual e metodológica para organizá-los e tratá-los, para que os produtos gerados realmente sirvam de subsídios para intervenções positivas na realidade espacial.

A ausência de dados pode ser comparada ao deserto, e à necessidade de se trabalhar com inspeções pontuais e, a partir delas, propor generalizações espaciais. O momento atual pode ser comparado ao labirinto, pois já é possível obter dados com varreduras da superfície da Terra, ponto a ponto, e a partir dos mesmos gerar integrações locais. XAVIER-DA-SILVA (1992:48) coloca que essa mudança veio com o desenvolvimento das técnicas de sensoriamento remoto, quando “*ocorrências por vezes insuspeitadas passaram a ser registradas. Denominamos essa alternativa metodológica, em contraste com a alternativa clássica de inspeção localizada, de metodologia de varredura*”. O mesmo autor utiliza, em 1982, o conceito de “**Modelo Digital do Ambiente**” (*a digital model of the environment*) para caracterizar a massa de dados que passam a ser registrados de modo magnético e processados por computação eletrônica.

¹ BORGES, Jorge Luis. *Obras completas I*. Rio de Janeiro, Globo, 1998. p.676.

Um pesquisador, hoje, vê-se às voltas com essa massa de dados a serem manipulados e correlacionados na busca de respostas, e há, também, o perigo de que os mesmos se tornem um labirinto, no qual o encantamento com a nova tecnologia se torne um espelho distorcido que dificulte, ainda mais, o reconhecimento da saída a ser alcançada. Há o risco de se super-valorizar os meios em detrimento dos fins e, nas paredes de um labirinto metodológico, perder-se todo o ganho obtido com a evolução tecnológica.

No final do milênio, foram desenvolvidas etapas iniciais de um projeto de dimensões, literalmente, *mundiais*: o “Digital Earth”, lançado pelo vice-presidente dos Estados Unidos, Al Gore. Segundo XAVIER-DA-SILVA (1999c:1) trata-se do desafio de gerar um “Modelo Digital do Ambiente”, no qual seria possível navegar em busca de informações e, a partir delas, promover amplo desenvolvimento científico, permitido pelo melhor conhecimento da realidade. É o processo de varredura ambiental levado a escalas espaciais de “*multi-resolution, three-dimensional representation of the planet, into which we can embed vast quantities of geo-referenced data*” (AL GORE, 1998:1).

Em discurso proferido na California Science Center, em 31 de janeiro de 1998, Al Gore coloca:

“A new wave of technological innovation is allowing us to capture, store, process and display an unprecedented amount of information about our planet and a wide variety of environmental and cultural phenomena. Much of this information will be “georeferenced” - that is, it will refer to some specific place on the Earth’s surface. The hard part of taking advantage of this flood of geospatial information will be making sense of it - turning raw data into understandable information. Today, we often find that we have more information than we know what to do with.” (op.cit.:1)*¹

A idéia é organizar o potencial já existente de dados e torná-lo acessível à comunidade mundial. Objetiva-se gerar um “laboratório sem paredes” para pesquisadores em busca da compreensão das complexas interações entre humanidade e meio ambiente. O discurso salienta esse aspecto:

“We have an unparalleled opportunity to turn a flood of raw data into understandable information about our society and our planet. This data will include not only high-resolution satellite imagery of the planet, digital maps, and economic, social, and demographic information. If we are successful, it will have broad societal and commercial benefits in areas such as education, decision-making for a sustainable future, land-use planning, agricultural, and crisis management. The Digital Earth project could allow us to respond to manmade or natural disasters - or to collaborate on the long-term environmental challenges we face.” (op.cit.:4)

Uma quantidade de dados nunca antes disponível se tornará acessível. A questão é: sem os devidos cuidados com **processos metodológicos** para a manuseio e a exploração dos dados, pode-se cair na situação do labirinto, pois o excesso de informação é tão dramático como a falta de informação. São o labirinto e o deserto, situações antagônicas. O excesso de informação, se não enfrentado de modo correto, pode levar a conclusões pouco sustentáveis, regidas essencialmente pelo aparato técnico.

¹ <http://www.digitalearth.gov..> The Digital Earth: understanding our planet in the 21st Century. Al Gore, 31 de janeiro, 1998. California Science Center, Los Angeles.

2. Geoprocessamento - o “estado da arte” e definições básicas

O termo **Geografia**, que no latim é *geographia*, vem do grego γεωγραφία, que é o somatório de γη - Terra e γραφία - grafia, ou seja, a grafia, a representação da Terra. Vem, também, dos gregos a pensamento geográfico sistematizado, objetivando a localização dos lugares, ainda muito ligada à matemática e à geometria. Já o sufixo “processamento”, de **Geoprocessamento**, vem de **processo**, que é do latim *processus*, que significa “andar avante”, “progresso”. Os vocábulos latinos *processus* e *progressus* têm o mesmo significado, que é “andar avante”, “avançar”.

Assim, pode-se acreditar que o termo **Geoprocessamento**, que surgiu do sentido de processamento de dados georreferenciados, significa implantar um **processo** que traga um **progresso**, um andar avante, na **grafia** ou representação da **Terra**. Não é somente representar, mas é associar a esse ato um novo olhar sobre o espaço, um ganho de informação.

O vocábulo “Geoprocessamento” é conhecido, em outras línguas, por “*Geomatic*”, termo guarda-chuva que diz respeito a instrumentos e técnicas para a obtenção de dados espaciais, bem como teorias relativas à automação aplicada na obtenção de informações espaciais. Existe, em português, o termo “geomática”, mas que é compreendido como associado somente à etapa de aquisição e tratamento de dados, e não à análise.

O geoprocessamento, segundo a maioria dos autores da área, engloba **processamento digital de imagens, cartografia digital e os sistemas informativos geográficos** (ou sistemas de informação geográfica, ou mesmo sistema geográfico de informação). A cartografia digital, segundo ROSA e BRITO (1996:7) refere-se à automação de projetos, captação, organização e desenho de mapas; enquanto que o sistema geográfico de informação refere-se à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados, ou seja, um sistema de processamento de informação espacial. Vê-se, aqui, associação do sentido *espacial* às informações.

TEIXEIRA et alli (1992:5) também associam o sentido de geográfico às informações, quando colocam que “*um sistema de informação geográfica utiliza uma base de dados computadorizada que contém informação espacial, sobre a qual atuam uma série de operadores espaciais.*”

O significado de SIG, tradução de GIS (*Geographic Information System*) já gerou muita discussão no meio científico, pois a sua tradução para “sistemas de informações geográficas” pode levar à crença de que as informações sejam geográficas e, na verdade, nem todas as informações trabalhadas são geográficas, mas o sistema sim, pois os dados são espacializáveis. XAVIER-DA-SILVA (1999c:3) defende que o termo é assim caracterizado pois “Sistema” significa uma estrutura organizada, com limites definíveis, funções externas e internas com dinâmica própria e conhecimento de suas relações com a realidade. Informação não é somente um dado, mas é um ganho de conhecimento, o que é possível quando a transmissão é feita através de um protocolo convencional. Geográfico, por sua vez, é em relação ao sistema, e não em relação à informação. O sistema é geográfico, pois os dados são espacializados. O mesmo autor, ao definir o termo geoprocessamento, o caracteriza como “*um ramo do processamento de dados que opera transformações nos dados contidos em uma base de dados referenciada territorialmente (geocodificada), usando recursos analíticos, gráficos e lógicos, para obtenção e apresentação das transformações desejadas.*” (XAVIER-DA-SILVA, 1992:48)

Também caracterizando os diferentes procedimentos que são abrangidos pelo termo geoprocessamento, MOURA (1993:4) coloca que a cartografia automatizada ou digital adota a tradicional metodologia de construção de cartas temáticas, mas as análises e sínteses podem envolver relações mais complexas, evidenciando mútuas relações, que melhor representariam a dinâmica espacial; o que exige recursos como os oferecidos pelos Sistemas Informativos Geográficos. Segundo a autora:

“O interesse nos recursos da cartografia temática cresceu com a evolução da cartografia automatizada, também conhecida como cartografia numérica ou digital e, principalmente, dos Sistemas Informativos Geográficos, nos quais a base essencial de trabalho são os métodos de “overlay mapping” (sobreposição de mapeamentos).”

E continua:

“(...) os mapas temáticos, também chamados de “themes”, “overlays”, “coverages”, “data planes”, “layers” ou “levels” conformam um sistema para responder perguntas, embasar decisões ou auxiliar na resolução de problemas”.

Baseiam-se na linguagem visual e, para TOMLIN, (1990:xi) *“as a language, this is a formal system of symbols, rules governing the formation and transformation of those symbols...”* O autor (op.cit.:194) assim diferencia as potencialidades da cartografia digital dos sistemas informativos geográficos:

*“...descrições sobre o **quê** podem ser expressas em termos de observações-padrão, e medições podem ser complicadas por interpretações mais especializadas de **como**. A separação dos dois pode facilitar o trabalho do grupo, pois análises, preferencialmente devem ser conduzidas por técnicos especializados e produzem resultados definitivos, enquanto é mais provável que sínteses subjetivas sejam sujeitas a revisões.”*

Partindo da conceituação de SIG como instrumento de elaboração eletrônica que permite a coleta, gestão, análise e representação automatizada de dados georreferenciados, MUZZARELLI et alli (1993:27-38), desenvolvem estudo bibliográfico sobre o termo, comprovando que, ainda, não existe uma definição padronizada e universalmente aceita, a não ser o fato de que refere-se a informações espacialmente localizadas e que permite o controle e gestão do território. Segundo os autores, a falta de uma definição precisa do termo deve-se a dois fatores: o primeiro, que as potencialidades da informática ainda não estão completamente exploradas e previsíveis, e o segundo que percebe-se uma tendência de que os conceitos de geografia sejam associados ao quadro teórico, enquanto o instrumento operacional para os estudos espaciais seja associado à cartografia. Não obstante as diferenças de definições existentes, o autor observa a rápida difusão dos SIGs, conduzida por:

*“- um crescente interesse no território do ponto de vista geográfico, urbanístico e ambiental, sobretudo com a conscientização a respeito de suas limitações;
- uma maior necessidade de informações, asseguradas pelo desenvolvimento tecnológico com uma relação custo/benefício mais vantajosa.”* (1993:28)

O geoprocessamento se resume ao armazenamento e análise integrada de dados. A tecnologia da informação, segundo SECONDINI (1988:24) acrescenta potencialidade às seguintes funções: aquisição e elaboração de informações; análise das informações; formulações de previsões; geração de propostas de controle do sistema; e identificação de soluções aos problemas que se apresentam.

Diferenciando os processos que são incorporados pelo termo “geoprocessamento”, e principalmente esclarecendo questões sobre até onde vai a cartografia digital e onde começa a atuação de um SIG, COWEN (1990), após verificar as diferentes tendências da conceituação ao longo da história, classifica os aplicativos existentes em: **CAD**, **SIG** e uma situação intermediária, o “**Computer Mapping**”, que alguns pesquisadores denominam como “**Desktop Mapping**”. O autor associa o conceito de CAD ao desenho, à representação de informações geográficas, usando diferentes camadas de desenho, cores, estilos de linhas e recursos gráficos. Adverte, contudo, que: “...*the CAD system by itself, however, could not automatically shade each parcel based on values stored in an assessor’s database containing information regarding ownership, usage, or value*” (1990:55).

Já o conceito de SIG, COWEN associa à capacidade de produzir não só o inventário, como, também, a análise e a manipulação de dados, o que torna possível **gerar** informações e não só **recuperá-las** de um banco de dados. Existe um certo número de sistemas que não se enquadram nas definições de SIG ou de CAD acima apresentadas, e que são classificadas pelo autor como uma situação intermediária: o “**Computer Mapping**” (ou “**Desktop Mapping**”), que é caracterizado pela ligação entre dados cartográficos e alfanuméricos, possibilitando a resposta de algumas questões georreferenciadas, embora não possa ser considerado exatamente um SIG. Nesses casos:

“By combining standard database management operations with automated symbol assignment, computer mapping systems provide a much better linkage between geographic information and display than do simple drafting or CAD systems. However, such systems fall far short of the type of capabilities that are now available with full featured geographic information systems.” (op.cit.:56).

O “**Desktop Mapping**” vai atuar na interface entre banco de dados cartográfico e alfanumérico, respondendo a duas consultas básicas: “*em tal local, qual é a característica?*” e “*tal característica, onde está localizada?*”

COWEN (1990:53) acredita que as diferenças de definição devem-se às evoluções dos processos que estiveram presentes no desenvolvimento da tecnologia do geoprocessamento. Assim, ele identifica quatro etapas básicas: o “*process-oriented approach*”, o “*application approach*”, o “*toolbox approach*” e finalmente o “*database approach*”.

O autor mostra que as primeiras definições de SIG levavam à visão errada de que qualquer mapeamento por computador poderia ser um SIG. Cita os conceitos adotados por TOMLINSON e outros, no início dos anos 70, o que chama de conceitos baseados no “*process-oriented approach*”, quando um SIG era visto como um conjunto de subsistemas integrados que ajudariam na conversão de dados geográficos em informações úteis. Outra visão extremamente ampla do conceito foi adotada por CLARKE em 1986, que conceituava um SIG como “*computer-assisted systems for the capture, storage, retrieval, analysis, and display of spatial data*”. Essa visão de CLARKE e outros é chamada por COWEN de “*application approach*”, pois associa o SIG à informação manipulada mas não o diferencia de outras formas de manipulação automática de dados. COWEN detecta, ainda, uma tendência que chama de “*toolbox approach*”, para a qual um SIG deveria possuir um conjunto sofisticado de procedimentos computacionais e algoritmos para o manuseio de dados espaciais. Quando os autores passam a associar os conceitos de SIG ao emprego de relações topológicas na manipulação de dados, tem-se a etapa caracterizada por COWEN como “*database approach*”. Esse conceito é defendido por TOMLINSON e BOYLE em 1981, e por DANGERMOND em 1983.

Existem, hoje, no mercado da informática, softwares que são ótimos CADs, atendendo às expectativas de produzir mapas com boa resolução gráfica, e que também tornam possível a geração de cartas temáticas através da manipulação do banco de dados associado aos elementos gráficos. Tais sistemas são, muitas vezes, erroneamente classificados como SIG, pois falta uma definição que os caracterize não só como CAD, mas como portadores de alguns recursos de manipulação de dados alfanuméricos. São, na verdade, “*Desktop Mapping*” (ou “*Computer Mapping*”). Um SIG completo deve ser capaz de trabalhar com **relações topológicas**, ou seja, com estruturas geométricas que manipulam relações como vizinhança, conexão e pertinência. Pode-se resumir topologia como uma “*inteligência gráfica*” associada ao sistema.

Sobre o termo “topologia”, TEIXEIRA et alli (1992:25) explicam que o conceito “*define a localização dos fenômenos geográficos, um em relação aos outros, não requerendo necessariamente o uso do conceito de coordenadas, mas considerando apenas a sua posição no arranjo da rede, por exemplo*”.

Já MARINI (1988:122) coloca que as relações topológicas entre elementos são vizinhança, pertinência, conexão, inclusão, interseção; como se o computador trabalhasse com conjuntos e identificasse elementos que pertencem a um mesmo conjunto segundo certas características. Quando se trabalha com dados em formato raster, memorizados ponto a ponto de forma a compor uma imagem, é mais clara a compreensão das relações de topologia, pois é fácil verificar a adjacência de dois “pixels” (unidade mínima, cada ponto que conforma a imagem). Contudo, quando os dados estão em formato vetorial, a cada nó que delimita um segmento devem ser adicionadas informações sobre as áreas que eles dividem e, dessa forma, adicionar a estrutura informativa relativa à topologia.

MARBLE (1990:10), ao desenvolver uma panorâmica dos sistemas informativos geográficos, lista o que considera características essenciais que definem um SIG:

- “1. A data input subsystem which collects and/or processes spatial data derived from existing maps, remote sensors, etc.*
- 2. A data storage and retrieval subsystem which organizes the spatial data in a form which permits it to be quickly retrieved by the user for subsequent analysis, as well as permitting rapid and accurate updates and corrections to be made to the spatial database.*
- 3. A data manipulation and analysis subsystem which performs a variety of tasks such as changing the form of the data through user-defined aggregation rules or producing estimates of parameters and constraints for various space-time optimization or simulation models.*
- 4. A data reporting subsystem which is capable of displaying all the part of the original database as well as manipulated data and the output from spatial models in tabular or map form. The creation of these map displays involves what is called a digital or computer cartography. This is na area which represents a considerable conceptual extension of traditional cartographic approaches as well as a substantial change in the tools utilized in creating the cartographic displays.”*

MARINI (1988:145-148) informa que são esperadas dos sistemas as seguintes capacidades:

- “- gestão de bancos de dados indexados espacialmente;*

- obtenção de informações de forma eficiente dos bancos de dados sobre a existência, localização e propriedades de um grande número de objetos;
- flexibilidade do sistema em adaptar-se às exigências de cada usuário;
- possibilidade de adquirir conhecimento sobre os objetos tratados durante o uso do sistema.”

Os sistemas, segundo o autor, devem responder às seguintes questões:

- “- onde está o objeto A?
- onde está A em uma certa relação com B?
- quantos objetos de tipo A estão a uma certa distância de B?
- qual é o valor de uma certa função Z, no ponto X?
- quanto vale um certo parâmetro geométrico do objeto A?
- qual é o resultado da interseção de vários tipos de objetos geométricos?
- qual é o percurso de menores custos, resistência ou distância entre A e B seguindo uma rede fixada?
- o que há nos pontos X1, X2, X3...?
- quais são os objetos vizinhos àqueles que têm uma certa configuração de atributos?
- usando um arquivo digital como modelo do mundo real, simule o efeito do processo P, no tempo T, em um dado cenário C.” ^{*1}

Também discutindo os processos envolvidos pela adoção dos SIGs, MARTIN (1996:57-59) os caracteriza pelas de suas partes componentes e através de suas operações fundamentais, quais sejam:

- “- *Components of GIS:*
 1. *Collection, input and correction;*
 2. *Storage and retrieval mechanisms;*
 3. *Manipulation and analysis;*
 4. *Output and reporting.*
- *Fundamental Operations:*
 1. *Reclassification Operations;*
 2. *Overlay operations;*
 3. *Distance and connectivity measurement;*
 4. *Neighbourhood characterization.”*

O autor (op. cit.:61) propõe um esquema teórico dos Sistemas Informativos Geográficos, evidenciando os estágios de transformação dos dados, no processo de produção da *informação* espacial:

Fig 1 - “A transformation-based view of GIS operation” - MARTIN, 1996:61

DANGERMOND (1990:32) aponta as vantagens do uso da automatização dos dados:

- “1. *Data are maintained in a physically compact format.*
2. *Data can be maintained and extracted at a lower cost per unit of data handled.*
3. *Data can be retrieved with much greater speed.*

¹ Tradução nossa - original em italiano

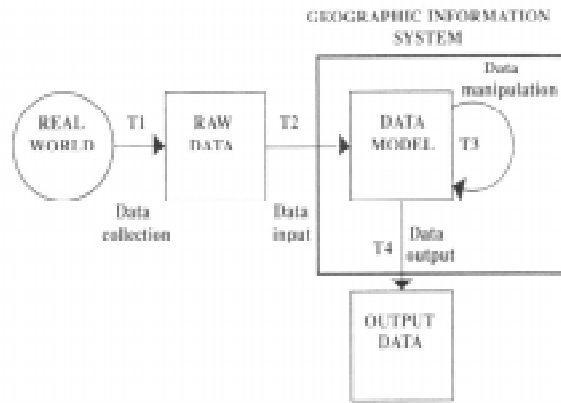


Fig 1 - "A transformation-based view of GIS operation" - MARTIN, 1996:61

4. Various computerized tools allow for a variety of types of manipulation including map measurement, map overlay, transformation, graphic design, and database manipulations.
5. Graphic and nongraphic (i.e. attribute information) can be merged and manipulated simultaneously in a 'related' manner.
6. Rapid and repeated analytic testing of conceptual models about geography can be performed (i.e. land suitability/capability). This facilitates the evaluation of both scientific and policy criteria over large areas in short periods of time.
7. Change analysis can be efficiently performed for two or more different time periods.
8. Interactive graphic design and automated drafting tools can be applied to cartographic design and production.
9. Certain forms of analysis can be performed cost-effectively that simply could not be done efficiently if performed manually (i.e. digital terrain calculations such as slope aspect, sun intensity, watershed, overlay analysis of multiple sets of complex polygon map sheets, etc).
10. There is a resultant tendency to integrate data collections, spatial analysis, and decision-making process into a common information flow context. This has great advantages in terms of efficiency and accountability."

Quanto às desvantagens, o mesmo autor coloca questões relativas aos custos iniciais de implantação, aos investimentos em equipamentos, à adaptação ao sistema e ao treinamento de pessoal.

Salientando os benefícios na adoção dos SIGs, SECONDINI (1988:96) acredita que seus recursos:

"...tornam possível a constatação sempre mais analítica e objetiva da organização territorial de um lado e, por outro lado, faz emergir novos elementos de conhecimento e

*conhecimento e novas sugestões de interpretação relacionadas a particulares fenômenos econômicos e sociais, em função de sua distribuição no território.” *¹*

Para o autor, uma das principais características dos SIGs é a possibilidade de se otimizar a atualização de dados, pois *“a realidade está sujeita a contínuas mudanças que modificam, rapidamente, a projeção territorial dos fenômenos econômicos e sociais.”* (op.cit.:23)

MOURA (1993:69) observa que nota-se uma grande difusão do SIG na produção de inventários e apoio à prática do planejamento, uma vez que permite a definição física e análise quantitativa dos componentes sócio-econômicos, mesmo análises qualitativas, atribuindo pesos às características identificadas dentro de uma escala de valores estabelecida. Tem-se tornado o principal instrumento de planejamento urbano por possibilitar um retrato mais fiel de sua complexidade e permitir a integração de análises por disciplinas diversas (do ponto de vista geológico, arquitetônico, econômico, entre outros).

Hoje, os SIGs procuram evoluir nas metodologias de tratamento de dados. O conjunto de dados, tanto cartográficos como alfanuméricos, oferece informações que são explícitas, mas existem, também, relações espaciais ou lógicas, e a essência dos Sistemas Informativos Geográficos está em explicitar essas relações.

Os Sistemas Informativos Geográficos, ao buscarem formas de trabalhar com as relações espaciais ou lógicas, tendem a evoluir do descritivo para o prognóstico. Em lugar de, simplesmente descrever elementos ou fatos, podem traçar cenários, simulações de fenômenos, com base em tendências observadas ou julgamentos de condições estabelecidas.

Assim, acredita-se na definição dada por XAVIER-DA-SILVA (1992:48) para o geoprocessamento: *“destina-se a tratar os problemas ambientais levando em conta a localização, a extensão e as relações espaciais dos fenômenos analisados, visando a contribuir para a sua presente explicação e para o acompanhamento de sua evolução passada e futura”*.

Sobre as tendências recentes no geoprocessamento, TOMLINSON (1990:18-29) coloca que a tônica principal trazida pela década de 80, e que ainda canaliza os interesses na década de 90, é o desafio de responder à questão *“What if”*, de lidar com simulações, providenciando o *“Expert Geographic Information System”*. Os conhecidos como “Sistemas Especialistas” trabalham na interface entre aplicações de modelos representativos de realidades, segundo diferentes óticas do conhecimento, às análises espaciais potencializadas pelos Sistemas Informativos Geográficos.

Para essa abordagem é fundamental a caracterização do contexto de desenvolvimento da pesquisa, pois os modelos são recortes metodológicos propostos por correntes do pensamento científico. Assim, torna-se importante clarear as lógicas de pensamento vigentes que embasaram a formulação dos modelos.

¹ tradução nossa - original em italiano

3. Bases conceituais na análise geográfica

O uso de um SIG está relacionado à geração de um espaço heurístico, pois permite: extração seletiva de variáveis e acompanhamento das variações ambientais (monitoria). O caráter heurístico está na possibilidade de aquisição paulatina e ordenada de conhecimento sobre uma problemática ambiental. Esse processo, chamado de calibração, permite a aproximação entre a realidade ambiental e seu modelo representativo. (XAVIER-DA-SILVA, 1992:49)

A pesquisa ambiental é, por natureza, de caráter idiográfico, **pois as situações ambientais são únicas, no tempo e no espaço**. Da mesma forma, uma situação ambiental representa uma instância discretizada no tempo e no espaço: uma escala espacial e temporal definidas, mas que estão em constante mutação. Contudo, a abordagem científica requer soluções de caráter nomotético, ou seja, que permita generalizações a partir de estudos realizados. (XAVIER-DA-SILVA, 1999d:1).

Essa discussão está na própria essência da ciência, que busca a compreensão da realidade através de sistemas ordenados. Trabalha, assim, com explicações de fenômenos passados, a existência do presente e as previsões futuras. Uma contribuição científica pode ocorrer na técnica, na metodologia, no conceito. Segundo FERREIRA e SIMÕES (1986:9) na ciência, a busca de respostas acontece em quatro diferentes níveis:

- na resolução (aplicação de métodos existentes);
- na metodologia (proposição de novas técnicas);
- na pesquisa (teorias sobre investigações possíveis);
- no enquadramento filosófico (bases conceituais sobre as quais se desenvolverão os outros níveis de abordagem).

Assim, as autoras defendem que a geografia, no contexto das ciências, busca o **onde**, o **por quê** e o **padrão** da distribuição dos fenômenos no espaço; *“tenta descobrir leis que regem as distribuições espaciais, debruça-se sobre a estrutura espacial de um fenômeno na superfície da terra, e não sobre o fenômeno em si”*.(op.cit.:26)

SANTOS (1996:18) alerta para o fato de que o conhecimento do objeto de análise, no caso a geografia, é fundamental para que, ao se propor novas técnicas e processos metodológicos, esses sejam vistos realmente como “meios”, cuja finalidade é a compreensão da realidade espacial. O autor fala sobre a possibilidade de **transcender sem transgredir**, o que depende do real conhecimento sobre o objeto de que se está tratando:

“Cada vez que o geógrafo decide trabalhar sem se preocupar previamente com o seu objeto, é como se para ele tudo fossem “dados”, e se entrega a um exercício cego sem uma explicitação de procedimentos adotados, sem regras de consistência, adequação e pertinência.”

CARNAP (1891, apud FERREIRA e SIMÕES, 1986:11) acreditava que a ciência se dividia em dois ramos, a ciência fática, na qual estaria a geografia; e a ciência formal, que abordaria as lógicas do pensamento, como a matemática. Contudo, observa-se, hoje, uma grande integração entre essas duas áreas da ciência, de modo que a geografia, ainda que se debruce sobre os estudos fáticos, deve adotar um sólido embasamento formal, pois a leitura que se faz da realidade é norteadada pela ótica das bases conceituais. Mesmo quando a pesquisa se restringe à aplicação de métodos, no nível da resolução de problemas, deve-se compreender as bases

conceituais que são estruturadoras dos mesmos. Fala-se, hoje, de visão holística, integrada, de consciência da interação dos fenômenos em amplo aspecto.

O Geoprocessamento, ramo da análise espacial que muitas vezes é associado somente à aplicação ou proposição de técnicas, deve ser compreendido em sentido mais amplo, pois é produto de um contexto científico que norteia o modo de compreensão da realidade. Essa preocupação acompanha o pensamento geográfico desde KANT (1724-1804) que se interessava pela natureza do conhecimento e pela forma de classificar os fenômenos. Segundo MORAES (1994:13) Kant dividia as ciências em sistemáticas (que abordam as categorias de fenômenos, como a biologia e a geologia), em históricas (buscam a relação entre fenômenos e o tempo) e as ciências geográficas (que abordam os fatos nas suas relações espaciais). Outra classificação atribuída a Kant é a separação entre ciências especulativas (razão) e ciências empíricas (observações e sensações, onde se encaixa a geografia). Apesar da contribuição em discutir a **natureza** do conhecimento, com a evolução da pesquisa em geografia vem a consciência das interrelações entre os fenômenos, de modo a valorizar o binômio **espaço/tempo**.

A integração entre as várias abordagens do saber, o conhecimento holístico, hoje tão valorizado, já podia ser vislumbrado na obra de HUMBOLDT (1769-1859), naturalista que via a paisagem como um produto da interação de vários fenômenos, devendo ser tratada de modo sistemático. RITTER (1779-1859) também baseou sua obra em uma geografia compreendida como interrelação de fenômenos na superfície da terra e desses com o homem. Defendia o estudo das relações entre as partes, das relações de causa e efeito mostradas pela natureza e pela história.

O século XIX foi marcado pelos trabalhos de COMTE sobre o positivismo, acreditando na observação como a única base do conhecimento e na possibilidade de geração de leis generalizantes. Influenciado por essa corrente, RATZEL desenvolveu abordagens de caráter determinista na geografia, com ênfase na geografia política. O determinismo geográfico atribui as responsabilidades das relações sociais aos fatores naturais, ou seja: a natureza seria a pré-configuração da ordem política, com atribuição de valor estratégico a certas posições espaciais. Contudo, ainda no final do século XIX, o pensamento de Kant voltou a influenciar os estudos geográficos, trazendo, em contraposição ao determinismo, o possibilismo, relativizando a influência do meio natural. Aumenta a carga humana do estudo geográfico. A geografia é vista como uma ciência idiográfica: são casos únicos e não padronizáveis em lei generalizantes. O caráter idiográfico é defendido por autores como LA BLACHE (1845-1981), HETTNER (1859-1941), MACKINDER (1861-1947) e HARTSHORE (1899). Esses autores acreditavam no caráter corológico da geografia, ou seja, relativo ao estudo das diferenciações espaciais da superfície da terra; mas não acreditavam ser possível o estudo de todos os fenômenos interrelacionados, mas somente os que davam caráter à *região*. São desenvolvidos estudos descritivos sobre unidades regionais.

O início do século XX foi marcado pelo ressurgimento do positivismo, evitando a utilização de juízos de valor e defendendo uma linguagem única entre as ciências, marcada pela matemática. É a época da “revolução quantitativa”, também conhecida como “nova geografia”. Essa nova face do positivismo aceita a existência de algum grau de indeterminação nas previsões futuras, passando a trabalhar com o conceito de probabilidade, como colocado por REICHENBACH (1930, apud FERREIRA e SIMÕES, 1986:82): “*não é dado à ciência chegar à verdade (...), mas os enunciados científicos podem alcançar unicamente graus contínuos de probabilidade, cujos limites inferior e superior, não alcançáveis, são a verdade e a falsidade*”.

São dessa época os trabalhos de HETTNER e de HARTSHORNE, cujas raízes filosóficas têm caráter neokantista. Hettner elabora estudos das diferenças de porções da superfície da terra, resultantes de interrelações. O autor, segundo FERREIRA e SIMÕES (op.cit.:129) acredita que “*A realidade é um espaço tridimensional que observamos de três pontos de vista diferentes. Em primeiro lugar, vemos as conexões de uma interrelação material; a partir do segundo ponto de vista, vemos o desenvolvimento no tempo; e, a partir do terceiro, a distribuição e a ordem no espaço. Portanto, devem considerar-se as ciências corológicas, juntamente com as sistemáticas e as cronológicas.*”

Hartshorne retoma a obra de Hettner e vai trabalhar os temas “área” e “interrelações”, acreditando que a área seria construída no processo de investigação, e não pré-definida. Para Hartshorne a geografia sistemática busca princípios de relação que possam agrupar fenômenos e traçar leis generalizantes, mas muitos fenômenos são únicos, e o processo de busca de integração é sempre uma forma de moldar a realidade. As classificações promovidas pela integração resultam em perda de informação e imprecisão.

A geografia quantitativa irá se basear na lógica e na matemática, explorando os recursos de estatística. É a época da geração e utilização de modelos espaciais, baseados em métodos dedutivos. Trabalha-se com a noção de “**espaço relativo**”, definido pelo físico POINCARÉ em “*Science et méthode*”, quando defende que a localização relativa de um ponto depende de sua posição em relação a outros, o que pode variar com o tempo e com a abordagem (1908, apud RUELLE, 1993:22). Pode-se, assim, ter uma distância-tempo no espaço absoluto diferente da distância-tempo no espaço relativo. A consciência da variabilidade dos fenômenos e de que as análises só são válidas dentro de situações pré-determinadas é um avanço significativo, mas os modelos gerados são distantes da conduta do homem e são somente simplificações reducionistas. Muitos modelos em geografia vão apresentar caráter corológico, ou seja: interessa a disposição dos fenômenos em uma área, e não os fenômenos em si.

A importância do **tempo** associado aos fenômenos espaciais é a tônica do trabalho de Hägerstrand, que defende “Geografia do Tempo” (1973), explorando a questão dos domínios, das formas de utilização do território por diversos agentes através de movimentos no tempo e no espaço. Acredita-se na inseparabilidade do tempo e do espaço, que passam a ter valor relativo, e não absoluto, o que é influenciado pela noção de sistema: o valor está relacionado à posição em relação a outros elementos, a outros componentes do sistema.

No final da guerra fria, as visões reducionistas da geografia quantitativa passam a ser questionadas através das correntes da fenomenologia e do existencialismo, que trazem a abordagem psicológica e as preocupações com os problemas sociais. Surgem, inicialmente, os estudos da geografia da percepção e do comportamento, estudando a relação entre a “imagem mental” que o usuário constrói do ambiente e seu modo de organizar o território. Buscando um caráter mais humano, são desenvolvidos estudos sobre valores e significados na produção espacial. Valorizam-se os espaços simbólicos, acreditando-se que, para cada grupo comunitário, deve ser proposto um espaço de integração marcado pelo “*genius loci*”, termo amplamente explorado na obra de NORBERG-SCHULZ (1975)*¹. Entende-se por “*genius loci*” o caráter especial de um espaço, baseado em elementos naturais, expressões culturais e interação cultura e meio-ambiente. São as características que dão unicidade a um espaço, “*spirit of place*”. (GARNHAM, 1985).

¹ NORBERG-SCHULZ, C. *Genius loci*. Barcelona, H. Blume, 1975.

Na mesma época surgem, também, os estudos da geografia radical liberal, acreditando que um novo ordenamento espacial poderia influenciar na melhoria social; e da geografia radical marxista, de caráter revolucionário. Autores como YVES LACOSTE (1976) apresentam a preocupação com o fato de que a geografia não parecia dar uma descrição de mundo que respondesse às preocupações vigentes. A época da geografia radical já foi caracterizada como a proposta de “destruição criativa”, pois defendia o rompimento com o passado e a adoção de novos padrões, novos cânones.

As propostas de considerar os fatores humanos, de trabalhar com planejamento participativo, e de ter consciência da complexidade e da interatividade dos fenômenos espaciais resultou, nas últimas décadas, no surgimento de estudos baseados na teoria de “Gaia”, na teoria do “Caos”, na visão **holística**. São de movimentos que têm consciência de que os fenômenos espaciais estão em constante mudança e em estreita interrelação, e que simples alterações em uma variável provoca efeitos de irradiação de resultados que podem chegar à escala mundial. Com a nova consciência surgem proposta como o “Planejamento Sustentável”. O encontro da ECO92, realizado no Rio de Janeiro, foi importante fórum para as discussões e divulgação do conceito de desenvolvimento sustentável. Alguns autores, como HARVEY (1992), englobam esses movimentos como proposta “pós-moderna”. HARVEY (op.cit.:53) esclarece que:

“Enquanto os modernistas pressupunham uma relação rígida e identificável entre o que era dito (o significado ou “mensagem”) e o modo como estava sendo dito (o significante, ou “meio”), o pensamento pós-estruturalista os vê separando-se e reunindo-se continuamente em novas combinações”.

MOURA (1994:49) assim discute as novas propostas da era pós-moderna:

“A visão holística do mundo foi usada nos estudos de desenvolvimento ligados ao meio ambiente, objetivando chamar à responsabilidade as partes envolvidas. A mesma foi embasada pela teoria do Caos, que alerta para o fato de que os fenômenos mundiais estão correlacionados dentro de um sistema não-linear.

A mudança no enfoque das questões ambientais, de um sentido e áreas restritas para uma abordagem mais ampla, embasou os conceitos de “Desenvolvimento Sustentável” ou “Desenvolvimento Auto-sustentado” propostos pela Comissão Brundtland (instituída pela resolução 36/161 da ONU e presidida pela primeira-ministra norueguesa, Sra. Brundtland). A Comissão publicou, em 1987, o relatório “Our common future”, defendendo o planejamento sustentável. Os problemas ambientais são considerados em amplo contexto sócio-econômico e procura-se incentivar o auto-desenvolvimento das populações dentro das possibilidades dos recursos de cada país. Ressalta-se a importância da cooperação entre países para vencer esse desafio, pois diante do perigo do colapso ambiental e da bomba populacional, tornaram-se eminentes os riscos em que as lesões ambientais podem resultar a nível mundial, pois os colapsos serão locais, mas os efeitos serão sentidos a nível mundial.”

A mesma autora (op. cit.:48) fala sobre as mudanças na lógica de pensamento:

“O mundo da pós-modernidade é marcado por avanços surpreendentes nas comunicações, através da informática, mudanças que começaram, ainda, na fase da modernidade, com a revolução quantitativa. Contudo, mudanças fundamentais

aconteceram, também, na lógica matemática. Na época do positivismo, dos pensamentos totalizantes, associada ao modernismo estava a lógica Booleana, ou seja, a lógica do 0 ou 1, através da qual a realidade era lida de uma forma única, numa relação de sim ou não.

Na era da pós-modernidade a matemática incorpora a acentuação da indeterminação. Baseia-se em conceitos como a teoria da Catástrofe e do Caos e a geometria dos fractais, regidos pela lógica Fuzzy, que rejeita as generalizações, as interpretações teóricas de aplicações universalizantes e propõe a fragmentação, as relações em perpétua mudança.”

Discutindo a nova consciência sobre a complexidade e o Caos, CHRISTOFOLETTI (1999:3) coloca que “... a maior parte da natureza é não-linear, comportando-se como sistemas dinâmicos e caóticos. Na teoria dos sistemas dinâmicos, a complexidade significa não apenas a não-linearidade, mas também uma diversidade elevada de elementos com muitos graus de liberdade”.

O mesmo autor explica que a visão holística é contra a visão reducionista de dividir em partes para compreender o todo, de basear-se na desagregação em inúmeros problemas componentes. A abordagem holística defende que a análise de um fenômeno deve ser feita em relação ao todo, ao contexto, e em seu próprio **nível hierárquico**. O holismo já estava presente nas obras de Ritter e de Humboldt. A visão é aplicada nas obras de Sotchava (1977) sobre a composição do geossistema, de Huggett (1995) sobre geoeologia, de Tricart (1976) sobre ecogeografia e de Lovelock (1984) sobre “Gaia”. Sobre as tendências mais recentes nas geociências, CHRISTOFOLETTI (op.cit.:4) destaca: “O desenvolvimento da aplicabilidade dos geossistemas dinâmicos e comportamento caótico em geociências é crescente na última década, interagindo com o uso da abordagem analítica fractal e multifractal para o estudo das estruturas e expressividade geométrica.”

O principal fundamento da visão holística surge ainda no final da Segunda Guerra Mundial, nos estudos sobre a percepção da forma da Gestalt, na Alemanha. Enfocando o funcionamento do olho humano e como se dava o processo de percepção das representações gráficas e espaciais, o Teoria da Gestalt defendeu a idéia de que **o todo é mais do que a soma das partes**, ou seja, se eu vejo um conjunto de elementos “a” e um conjunto de elementos “b” separadamente, não é o mesmo que ver “a+b”, pois a interação entre os elementos conforma uma terceira situação, que podemos chamar de “c”, que só existe pela correlação entre os anteriores. Uma vez somados, não é mais possível distinguir “a” e “b”, mas o que se percebe é uma nova realidade. (FRACCAROLI, 1982)

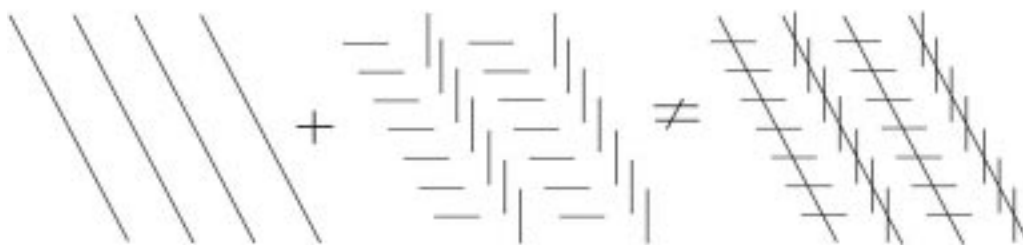


Fig 2 - “O todo é mais do que a soma das partes”- Gestalt

Esse conceito de interrelação está na proposta de “Sistemas” introduzido por CHORLEY, em 1962. HAIGH (1985, apud CHRISTOFOLETTI, 1999:46) explica que “um sistema é uma

totalidade que é criada pela integração de um conjunto estruturado de partes componentes, cujas interrelações estruturais e funcionais criam uma inteireza que não se encontra implicada por aquelas partes componentes quando desagregadas.” CHRISTOFOLETTI cita como exemplos nos quais a abordagem sistêmica foi aplicada: por AB’SABER (1967) em estudos sobre os domínios morfoclimáticos brasileiros, por TROPPIAIR (1983) em estudos sobre geossistemas do estado de São Paulo, por LOVELOCK (1987) em estudos de geofísica e por DICKINSON (1987) que utiliza exemplos da Amazônia.

Enfocando melhor a proposta do Caos, deve-se lembrar que o estudo moderno do Caos começou quando, na década de 60, Edward Lorenz verificou que pequenas diferenças de **insumo** podiam transformar-se rapidamente em **expressivas diferenças no resultado** - um fenômeno que recebeu o nome de “*dependência sensível das condições iniciais*”. Lorenz observava que, um dado domínio, um fenômeno apresentava repetições que nunca eram perfeitamente iguais, mas havia um padrão, uma “*ordem da desordem*”. Em busca de explicações para os sistemas dinâmicos, de uma **ordem na desordem**, surgem, na década de 70, estudos que foram denominados como “Teoria do Caos”:

“Toda a tradição da física é que, isolados os mecanismos, todo o resto flui. Isso está desmoronando totalmente. Nesse caso, sabemos as equações certas, mas elas nada valem. Somamos todas as peças microscópicas e vemos que não podemos entendê-las a longo prazo. Elas não são o que é importante no problema. Isso significa totalmente o significado de saber alguma coisa.” (GLEICK, 1990:172).

A teoria do Caos estuda os sistemas não lineares, fenômenos que, para serem enfocados, deve-se avaliar complexa gama de fatores. Segundo DAMATO (Folha de São Paulo, 13/06/93), nos sistemas não-lineares: “...uma alteração mínima numa variável observável pode provocar efeitos catastróficos. Esse comportamento é resumido pelo “efeito borboleta”: o bater de asas de uma borboleta da China pode desencadear uma reação que provoque um furacão nos Estados Unidos.”

Antes da conscientização a respeito da matemática do Caos, os sistemas eram vistos como lineares; podiam ser montados e desmontados que as peças se encaixariam. Seria possível fazer previsões, uma vez que definida a reta (a explicação) você teria todos os possíveis pontos da reta (as possíveis ocorrências). Relações não lineares, como a que existe entre atrito e velocidade na aceleração, eram tratadas como exceção:

“Uma das maneiras mais tradicionais de análise de um sistema pela ciência tradicional é a divisão e redução: observar um sistema que se deseja analisar, dividi-lo em suas partes constituintes e analisar as partes. O somatório deve ser igual ao todo. Foi assim na medicina, biologia, física, química: divide, analisa, classifica. As escalas alcançáveis pela mente e visão da humanidade foram se expandindo; foram criadas outras perspectivas. Com a criação e o desenvolvimento dos computadores, mais possibilidades se abriram para a compreensão e estudo das escalas. Quanto mais se olhava, mais se dividia, mais se especializava, mais se classificava.” (UBIRAJARA-DA-SILVA, 1998:32).

A nova proposta de tratamento matemático substitui a descrição linear pela consciência da complexidade. Na Teoria do Caos se repete uma equação em lugar de resolvê-la, de modo que a equação se torna um **processo** em lugar de uma **descrição**; **dinâmica** em lugar de **estática**.

A Teoria do Caos traz, também, os estudos sobre as relações **fractais**, pois no mundo euclidiano o espaço era visto como tridimensional, pois usava somente três dimensões para a localização de um ponto. Contudo, essa dimensão, no novo olhar do Caos, **depende do observador**. As relações passam a ser vistas como multidimensionais. A geometria fractal é uma nova linguagem para descrever, modelar e analisar formas complexas. A partir do arranjo e da disposição das estruturas é possível estudar a espacialidade do fenômeno.

O termo “fractal” vem do latim *fractus*, que significa descontínuo, irregular ou quebrado. É um termo associado a fenômenos que são invariáveis com a escala, ou seja: mantêm um padrão de comportamento ou de organização física em diferentes escalas de observação. Fractal significa, acima de tudo, auto-semelhante. A auto-semelhança é a simetria através das escalas. Significa recorrência, um padrão dentro do outro.

“Quando se examina o desenvolvimento de um processo ao longo do TEMPO, fala-se de termos usados na Teoria do Caos. Quando o interesse se encontra dirigido para as FORMAS ESTRUTURAIS resultantes do processo caótico, então se usa a terminologia da Geometria Fractal”. (PEITGEN, JURGENS e SAUPE, 1992, apud CHRISTOFOLETTI, 1999:67).

A relação fractal pode ser caracterizada dentro da **abordagem sistêmica**, pois as partes constituintes, em diferentes escalas, estão em profunda interação. HUGGETT (1980:3), ao discutir a abordagem sistêmica, faz referência aos relacionamentos entre os diferentes níveis hierárquicos:

“Despite the almost autonomic behaviour of a system at any level in a hierarchy, there is a degree of relationship between the system of interest, its parts, and its environment. The relations are bipartite. On the one hand, the system is linked to its component sub-systems: on the other hand the system is linked to a larger, super-system, or environment, of which the system is but a component part. A system at any level of interest thus has what Koestler (1969) called two faces: the face turned towards a lower level, towards the system parts or sub-systems, is that of an autonomous whole (...)”

A ciência hoje está diante do desafio de trabalhar com sistemas complexos, com variáveis que interagem e estão em constantes mutações. Busca-se a “ordem na desordem”, pois “(...) a complexidade, em si mesma, possui suas próprias leis, que podem ser simples e coerentes.” (CHRISTOFOLETTI, op. cit.:3). Nessa busca, o geoprocessamento é um importante aliado, pois permite o gerenciamento de significativo banco de dados, assim como a aplicação de algoritmos na análise e integração. A elaboração de algoritmos é norteada por lógicas do pensamento, que são representativas do contexto científico vigente.

4. Lógicas do pensamento em geoprocessamento

Os problemas ambientais são caracterizados por uma expressão territorial (espaço) e por dinâmica (tempo). (XAVIER-DA-SILVA, 1993:609). O mesmo autor (1999c:2) coloca que a pesquisa ambiental parte dos seguintes pressupostos:

- todo fenômeno é passível de ser localizado;
- todo fenômeno tem sua extensão determinável;
- todo fenômeno está em constante alteração;
- todo fenômeno apresenta-se com relacionamentos, não sendo registrável qualquer fenômeno totalmente isolado;
- segundo o postulado da causalidade, é possível revelar relações causais entre as correlações associadas aos fenômenos, com margens de erro, o que leva a uma validade relativa.

Organizando os dados ambientais de modo a preparar o raciocínio para a utilização de métodos facilitadores de classificações, tanto no sentido da discretização do território como de organizações taxonômicas, BERRY (1987, apud XAVIER-DA-SILVA, 1999c:12) propôs a “Matriz Geográfica”. O processo trata da representação das questões ambientais na forma de matriz x/y, colocando as variáveis nas linhas e as unidades territoriais nas colunas. A organização da matriz exige uma classificação taxonômica (escolha e apresentação das variáveis) e uma resolução espacial (segmentação da área geográfica). A leitura de uma linha da matriz representa a distribuição de um tema no espaço, ou um mapa. A leitura de uma coluna significa uma unidade territorial e as variáveis que ali ocorrem. Caso a matriz seja tridimensional (x/y/z), no terceiro eixo, eixo z, podem ser representadas informações sobre razões (taxas) ao longo do eixo taxonômico. Assim, é possível associar a questão **tempo** às análises espaciais.

A matriz geográfica, segundo BUZAI et alli (1997:285):

“...permitieron conceptualizar la dicotomía entre estudios “idiográficos” y “nomotéticos” como simples cambios de escala de trabajo, dependiendo si el análisis era realizado privilegiando un sentido horizontal o vertical, e incluso realizar estudios temporales a través de una dimensión de profundidad. Com las técnicas de tratamiento gráfico y particularmente com el desarrollo de un formato raster de representación espacial, las coordenadas fila-columna de cada medición realizada tuvieron la posibilidad de representar de forma directa categorías en espacios discretos de coordenadas x-y o geográficas sobre la superficie terrestre. El desarrollo de la Geotecnología há permitido brindar una mayor dinámica operativa a estos conceptos a partir de lograr relaciones entre la cartografía y bases de datos computacionales alfanuméricas en sistemas vectoriales y raster posibles de ser manipulados para cualquier eventual transformación. En síntesis, el concepto inicial se há ampliado y las metodologías de trabajo redefinido en el camino de una integración teórico-metodológica dentro de perspectivas que permitan actuar concretamente sobre la realidad geográfica que nos rodea”.

XAVIER-DA-SILVA (1999b:1-3), ao discutir as lógicas de análise e integração que são utilizadas no geoprocessamento, aborda, entre elas, a lógica do *V ou F, 0 ou 1*: a chamada lógica *Booleana*. Essa lógica é aplicável em casos de utilização de árvores de decisão, nas quais um especialista irá responder questões a respeito de conhecimentos específicos, tais como: “A

forma é mais importante que a cor na embalagem?”. As respostas dadas cabem em um contexto no tempo e no espaço, em uma situação específica. Na aplicação da árvore de decisão cada resposta dada leva a um “ramo” que se subdivide em novas possibilidades, sendo, no caso da lógica booleana, excludentes entre si.

HUGGETT (1980:17), ao abordar a análise sistêmica, fala de processo de corresponde ao da adoção da árvore de decisão: “*By discriminating system parts of sub-systems at different levels of resolution, a complex system is simplified in a logical and realistic way which avoids the bewildering bulk of information at microscopic levels.*”

XAVIER-DA-SILVA (1999b:1-3) apresenta, também, a possibilidade de utilização da *Perspectiva Bayesiana*, baseada no conceito de probabilidade condicional, ou seja: a probabilidade de ocorrência de um fenômeno é medida uma vez constatada a ocorrência de um outro fenômeno a ele associado. Não pode ser utilizada em estudos exploratórios de situações ambientais desconhecidas, pois exige conhecimento prévio das possibilidades de relações entre fenômenos.

O autor defende a adequabilidade do uso da *Média Ponderada* nas análises ambientais. Na média ponderada cria-se um espaço classificatório, ordinal, que pode ser também entendido como uma escala de intervalo. Esse processo pode também ser utilizado em escala nominal, uma vez que os eventos sejam hierarquizados segundo algum critério de valor. A ponderação deve ser feita por “*knowledge driven evaluation*”, ou seja: por conhecedores dos fenômenos e das variáveis envolvidas na situação avaliada, ou por “*data-driven evaluation*” que refere-se ao conhecimento prévio de situações semelhantes. Nesse processo, a possibilidade de se ponderar de modo inadequado uma situação é o inverso do número de ponderações atribuídas. No exemplo abaixo, temos uma matriz de 6 por 6 e observa-se que, a possibilidade de se atribuir a nota 10 ao acaso é de 1/36, da mesma forma que a possibilidade de se atribuir nota 1 é de 2/36, nota 2 é de 3/36, e daí por diante.

GEOMORFOLOGIA - PESO 0.5	5	6	7	8	9	10	ESPAÇO CLASSIFICATÓRIO
	4	5	6	7	8	9	
	3	4	5	6	7	8	
	2	3	4	5	6	7	
	1	2	3	4	5	6	
	0	1	2	3	4	5	
SOLOS - PESO 0.5							

Fig 3 - Média Ponderada

Outra lógica bastante aplicável à complexidade ambiental é a lógica *Fuzzy*, ou **nebulosa**. LEVINE et alli (1988:97), ao discutirem o uso das probabilidades e da lógica nebulosa, explicam que “*as pessoas não conseguem sempre se expressar por meio de respostas exatas.*” O uso de conceitos inexatos é chamado de lógica nebulosa. Acreditam que a utilização de respostas baseadas no *V ou F* da lógica booleana só cabem no caso de sistemas especialistas, pois esses profissionais, no dia-a-dia, “*...fazem suposições quase que precisas em seus domínios*”. Contudo, na maioria dos casos a lógica nebulosa é mais adequada.

A lógica Fuzzy, é discutida por BONHAM-CARTER (1994:291) e definida por: “*In classical set theory, the membership of a set defined as true or false, 1 or 0. Membership of a fuzzy set, however, is expressed on a continuous scale from 1 (full membership) to 0 (full non-membership).*”

Da mesma forma, SEIXAS FILHO (1993:3) defende que a lógica *Fuzzy*, “*permite lidar com conceitos imprecisos dependentes da intuição e avaliação humanas*”. O autor acredita que a natureza binária é pouco adaptável a situações reais, enquanto a natureza contínua capta melhor a subjetividade das situações. Adotam faixas variáveis de pertinência a uma situação de interesse, se aproximando do raciocínio humano. As faixas de pertinência também são denominadas, na bibliografia, por “*graus de pertinência*”. O modo de atribuição de graus de pertinência é semelhante à determinação de valores na Média Ponderada.

A lógica Fuzzy, segundo MOURA (1993:28):

“Criada por LOTFI ZADEH em 1965, é um sistema matemático para a manipulação de descrições imprecisas. Contra as relações binárias, do sim ou não, propõe a interpretação da realidade como um conjunto em que os membros têm graus de pertinência. Esses graus são dados por valores arbitrários que dependem de diferentes pontos de vista do contexto, sendo interessante contar com as opiniões de diferentes especialistas. É, como, se entre o “sim” e o “não” fosse inserido um “pode ser” que depende de uma série de outras condições e que, por sua vez, levaria a outras conclusões. Usando um exemplo, seria como avaliar a pertinência de um uso “x” em um certo espaço urbano, segundo a ótica de diferentes especialistas. Cada especialista não construiria sua avaliação dentro do sim ou não, mas daria graus de pertinência à proposição, segundo a sua visão. O resultado seria a avaliação dos pesos vista de forma conjunta.”

XAVIER-DA-SILVA (1999b) acredita que a função de pertinência na análise ambiental é medida pela probabilidade de ocorrência de um fenômeno, como ocorre na lógica *Fuzzy* ou na Média Ponderada. Para dar respostas, ainda que dentro de faixas de probabilidade, as mesmas devem ser geradas em discussões organizadas, como a aplicação do método *Delphi* ou a consulta a especialistas (*experts*). O autor apresenta o seguinte exemplo:



Fig 4 - Função de pertinência

A possibilidade de uma pessoa se atrasar saindo com muita antecedência, tende a zero (não diremos que será zero, pois o zero absoluto não existe). Da mesma forma, a possibilidade de uma pessoa se atrasar saindo como antecedência muito pequena, é máxima. O patamar de possibilidade máxima de atraso perde a estabilidade a partir de um certo ponto, quando ocorre a ruptura do sistema (que alguns autores vão chamar de **ponto de mutação**^{*1}) e cai numa escala logarítmica decrescente (cada pequeno decréscimo na antecedência da saída resulta em maior possibilidade de atraso).

Os operadores da lógica nebulosa serão o valor mínimo encontrado, o valor máximo encontrado, o produto algébrico nebuloso, a soma algébrica nebulosa e o operador Gama. O produto algébrico nebuloso considera os efeitos conjugados de diversas variáveis na geração de um valor classificatório, tendendo sempre a minimizar os valores. Por exemplo, se são atribuídas as notas 0.9 e 0.9 na conjugação de duas variáveis, o resultado será 0.81, que é um valor menor que 0.9. A soma algébrica nebulosa tende a maximizar valores, pois o resultado obtido é sempre maior. Assim, para contrabalançar a soma algébrica nebulosa com o produto algébrico nebuloso é utilizado o operador Gama, que é o produto entre eles, de modo a obter valores entre 0 e 1. O produto algébrico nebuloso, ao contrabalançar a maximização com a minimização evita estimativas otimistas ou pessimistas.

Diante da importância das diferentes opiniões e das determinações dos graus de membro, que devem refletir a realidade, justifica-se a estreita relação entre a lógica Fuzzy e os conceitos pós-modernos de mundo (complexo e fragmentado, composto por diferentes variáveis e que, segundo diferentes condições, forma correlações). É fundamental para um urbanista ter em mente a necessidade da visão holística do mundo urbano, do desenvolvimento de trabalhos em equipes transdisciplinares, assim como do planejamento participativo.

Os recursos do geoprocessamento aparecem, nessa oportunidade, como importantes instrumentos que podem proporcionar as associações/sínteses/correlações entre as diferentes análises passíveis de realização por diferentes profissionais, assim como ser o veículo de comunicação entre técnicos, comunidade e instituições.

Assim, acredita-se na proposta defendida por Hägerstrand, ainda nos idos da década de 70, da profunda relação entre **tempo e espaço**, que atuam de modo sistêmico, de forma a atribuir valores relativos, e não absolutos, a cada componente dos sistema. As formas de ocupação da realidade geográfica vão acontecer em domínios no tempo e no espaço, cuja difusão dependerá das diferenças físico-territoriais, socio-territoriais e sócio-geográficas. Essas diferenças já foram classificadas por alguns autores, ainda na década de 80, como “*reverse salient*” ou “**rugosidades**” (SANTOS, 1988, e JOERGES, 1988^{*2}). Devido à existência de diferenças nos arranjos de variáveis que compõem a realidade espaço-temporal, a difusão das formas de ocupação e das inovações geradas pelo avanço tecnológico não se dá de modo uniforme, mas é canalizada mais rapidamente para parcelas onde há elementos catalisadores ou facilitadores. O resultado são os diferentes domínios, cada um vivendo uma escala temporal.

¹ Sobre a teoria do “ponto de mutação” cabe a indicação da obra de Fritjof CAPRA: *The Turning Point*, 1982. O físico fala da visão holística e das transformações que são desencadeadas frente a saturações de arranjos existentes.

² JOERGES, B. *Large technical systems: concepts and issues*. In.: MAYNZ, R. *The development of large technical systems*. Frankfurt, Campus Verlag, 1988. p.9-36. e SANTOS, Milton. *Por uma nova geografia*. São Paulo, Hucitec, 1978. Ambos citados por SANTOS, Milton. *A natureza do espaço; técnica e tempo, razão e emoção*. São Paulo, Hucitec, 1996.

A difusão é um processo de redistribuição de elementos simples ou complexos no tempo e no espaço, pois com o adensamento em um ponto (saturação) ocorre a distribuição para áreas vizinhas. Segundo DAUPHINÉ (1995:92), as formas de difusão no espaço geográfico podem ser ao acaso, por novas hierarquias, ou por contigüidade.

As rugosidades existentes na difusão de arranjos e situações espaciais, tanto no tempo como no espaço, pode ser correlacionado ao conceito da matemática dos fractais: há diferentes escalas espaciais e temporais dos fenômenos, de modo que a alguns setores a intervenção chega mais rapidamente, e em outros mais lentamente. À medida em que as ações se propagam, como o sistema é dinâmico, as variáveis são alteradas em efeito cascata, de modo que é impossível observar eventos iguais no tempo e no espaço. Contudo, há uma essência que se mantém, apesar das transformações.

SANTOS (1996:63) destaca a importância do fator **tempo** na natureza do espaço, e define o espaço como “*um conjunto indissociável de sistemas de objetos e sistemas de ações, em um quadro único*”, um conjunto de **fixos e fluxos**. O significado ou valor de cada componente no sistema geográfico, formado por elementos em contigüidade, é resultante do papel que eles desempenham no processo social. A ação altera uma situação existente e, por atuar em um sistema, o agente altera alguma coisa e também a si mesmo, em efeito cascata. O autor relata, ainda, que a importância da ação, dos fluxos, e, conseqüentemente, do tempo, nos processos geográficos já resultou até na defesa de que a geografia deveria ser considerada não como ciência do espaço, mas sim como ciência da **ação**, segundo WERLEY (1993, apud SANTOS, op.cit.:69). Contudo, para que se perceba essa ação, é necessário um sistema de objetos que dará forma às intervenções:

“Um evento é o resultado de um feixe de vetores, conduzidos por um processo, levando uma nova função ao meio preexistente. Mas o evento só é identificável quando ele é percebido, isto é, quando se perfaz e se completa. E o evento somente se completa quando integrado ao meio. Somente aí há evento, não antes.” (SANTOS, op. cit.:77)

Assim, na íntima integração tempo/espaço, as formas resultantes da paisagem são respostas das ações do tempo sobre o espaço, que acontecem de modo sistêmico. As ações acontecem através de eventos que nunca se repetem, pois a cada momento e em cada localização espacial há circunstâncias diferentes, fazendo com que cada situação seja diferente da precedente e da seguinte e, por sua vez, no processo sistêmico, seja responsável por mudanças em novas situações.

A complexidade em se trabalhar com a geografia está, justamente, na capacidade de se perceber as constantes mudanças espaço-temporais e, ainda, em se perceber o valor relativo (e não absoluto) das diferentes variáveis que compõem o sistema. Assim, KUBLER (1973:140)*¹ sugere o trabalho com três coordenadas: o lugar, a idade e a seqüência. Pela variável seqüência entende-se que os objetos estão organizados segundo uma hierarquia, uma ordem de combinações que dão sentido àquele meio:

“O valor total das coisas se modifica, a cada momento, arrastando a alteração do valor de cada coisa. Tal distribuição de valores não é aleatória. Ela revela as determinações pelas quais a realidade total vai mudando para se encaixar nas

¹ KUBLER, George. *Formes du temps, remarques sur l’histoire des choses*. Paris, Champ Libre, 1973. p.140, apud SANTOS (1996:124-126).

formas preexistentes ou criadas. O modelo sistemas de objetos - sistemas de ações somente se entende como um modelo espaço-temporal”.

O desafio, nos estudos geográficos, está em realizar um corte espaço-temporal para as análises, mas, ao mesmo tempo, não perder a noção de que a realidade é sistêmica e que está em constantes mudanças. Uma realidade percebida aqui e agora não é mais percebida em um momento seguinte ou em um outro espaço. Além disso, a distribuição das ocorrências não é homogênea, mas condicionada por rugosidades da composição social e territorial. Contudo, é possível procurar a essência que caracteriza um espaço se for mapeada a hierarquia, ou ordem, que dá forma aos arranjos de variáveis. O sentido dos estudos geográficos está em caracterizar uma realidade espacial de modo a gerar subsídios para estudos de predições: as alterações e as implicações dessas intervenções. Uma metodologia para a realização desses estudos está na construção de modelos que, devidamente calibrados, podem chegar bem próximos da representação da realidade. O desafio é a construção de modelos que espelhem a dinâmica das mudanças, as relações sistêmicas e o papel dos diferentes componentes da teia ou **rede de interrelações**.

5. O uso de modelos no geoprocessamento

O geoprocessamento está intimamente relacionado à modelagem. Os modelos, que são tentativas de representação simplificada da realidade, foram passos importantes na busca de respostas sobre correlações e comportamentos de variáveis ambientais. Ainda que criticados quando promovem excesso de generalização, o que resulta em simplificações pobres da realidade espacial; os modelos, se construídos sobre lógicas que adequadas para lidarem com complexidade, como a lógica nebulosa, apresentam significativo caráter heurístico, revelador.

A crítica à característica simplificadora dos modelos é abordada por MACHADO (1999:1) ao defender que *“um modelo só pode ser útil se representar a realidade de forma simplificada, pois se esta for apresentada de maneira complexa, será reproduzida a complexidade, e desse modo não faz sentido a existência do modelo.”*

Modelos, segundo CHORLEY e HAGGET (1967) são a apresentação formal de uma teoria que use os instrumentos de lógica, da teoria estabelecida e da matemática. Modelos podem ser uma teoria, uma lei, uma hipótese, uma idéia estruturada, uma relação, uma função, uma equação, uma síntese de dados ou argumentos do mundo real. Embora simplificações da realidade, têm como ponto importante a seleção dos aspectos mais relevantes. O sistema é estudado segundo determinado objetivo, e tudo o que não afeta esse objetivo é eliminado. O risco da subjetividade pode ser reduzido com processos de ajuste ou calibração, quando são avaliados os parâmetros envolvidos. Uma vez calibrado, o modelo deve passar por processo de verificação, através de sua aplicação a uma situação conhecida, o que é chamado de “validação”. Só após a validação é que um modelo deve ser aplicado em situações em que não são conhecidas as saídas do sistema.

CHORLEY e HAGGET (op. cit.:23) apresentam como características principais dos modelos os aspectos:

- Seletividade - Determinação de prioridades e seleção das informações relevantes;
- Estruturação - Relação estabelecida entre os elementos envolvidos, segundo características e funções;
- Sugestividade - Como instrumentos especulativos, apresentam potencial explicativo;
- Aproximidade - Devem ser simples, para serem compreensíveis, mas complexos para representarem a realidade;
- Reaplicabilidade - Como pré-requisito nas ciências empíricas, deve ser reaplicado em diferentes casos da mesma categoria.

Os mesmos autores (op. cit.:24) assim descrevem as funções dos modelos:

- Psicológica - a simplificação permite a apreensão e a compreensão;
- Aquisitiva - possibilidade de adquirir e ordenar informações;
- Fertilidade - Permitem extrair dos dados maior número de informações;
- Logicidade - Permitem a explicação de como acontecem os fenômenos;
- Normativa - Permitem a comparação entre um fenômeno e outro;
- Sistemática - Os elementos apreendidos devem ser considerados como sistemas interligados, com o estabelecimento de correlações;
- Construtiva - Permitem a formulação de leis e teorias;
- Parentesco - Promovem a comunicação de idéias científicas.

Os modelos em geografia envolvem propriedades locacionais (onde), atributos temáticos (o que) e temporais (quando), descrevendo tempo e espaço. Diferentes classificações de modelos já foram propostas por Chorley e Woldenberg (1985), Haines-Yong e Petch (1986), Brunet,

Ferras e Thery (1993), Singh (1995), entre outros (CHRISTOFOLETTI, 1999:8-18). Sobre os modelos aplicados aos Sistemas Informativos Geográficos, destaca-se a classificação de Brian Berry (1995):

Modelos:

estrutural		relacional	
objeto ex.: a planta de uso do solo de uma cidade	ação ex.: fluxos de deslocamento	funcional ex.: previsão do escoamento segundo precipitação	conceitual ex.: adequabilidade da recreação ao ar livre

Características do Modelos:

escala	macro/micro
extensão	completo/parcial
objetivo	descritivo/prescritivo
abordagem	empírico/teorético
técnica	determinística/estocástica
associação	genérico/interligado
agregação	agrupado/desagrupado
temporalidade	estático/dinâmica

Entre os procedimentos adotados para a geração de modelos, no caso dos sistemas ambientais observa-se a utilização do procedimento metodológico hipotético-dedutivo, no qual hipóteses são verificadas para gerar leis, sendo importante a retroalimentação.

CHRISTOFOLETTI (1999:25-27) cita as quatro indagações científicas propostas por Polya (1973) na elaboração de modelos, e alerta para cuidados importantes:

1. Qual é a questão?

Deve-se compreender o problema, trabalhando com consistência lógica, pressupostos, deduções e conclusões. Deve-se ter conhecimento das propriedades envolvidas, de modo a saber se alterações na escala e nas condições ambientais são aceitáveis

2. Como se pode resolvê-lo?

Deve-se estabelecer plano para solução do problema. As formulações matemáticas possibilitam minimizar, embora não eliminar, os riscos da inconsistência lógica em um modelo. Hoje, mais do que algoritmos, tem-se valorizado a heurística na formulação das análises, através dos “*expert systems*”, que procuram reproduzir o raciocínio humano na utilização de regras lógicas. Na análise de sistemas deve-se examinar a inteireza do modelo, verificando a presença ou ausência de relações entre as partes do mundo real ou dos sistemas estruturados nos modelos.

3. Qual é a resposta?

Deve-se executar o plano. São utilizadas simulações por computador e verificadas as respostas obtidas em realidades conhecidas.

4. A resposta está correta?

É feito o processo de calibragem, quando são estabelecidos parâmetros para as entradas e condições internas do sistema, a fim de se verificar a adequação das respostas. Calibrado o modelo, passa-se à execução do projeto, quando o mesmo é utilizado para produzir as respostas almejadas.

ANDRADE et alli (2000:126) indicam como variáveis que devem compor o modelo de gestão ambiental as variáveis econômicas, as tecnológicas, as legais, as sociais, as demográficas e as físicas. Caracterizado o ambiente, deve ser proposto o modelo de gestão, através de estratégias, possibilitando a construção de cenários ou estudos de prospecção.

A análise dos dados ambientais pode ser feita através de estudos de geoestatística ou por modelagem espacial, ambos utilizados como recursos no geoprocessamento. A vantagem em se utilizar a modelagem espacial está na promoção dos recursos de visualização na espacialização dos fenômenos, uma vez que conformação espacial pode resultar em novas leituras dos resultados. CHRISTOFOLETTI (1999:24) cita exemplos em que a representação espacial significa ganho nas análises ambientais:

“Em decorrência dos avanços na área computacional, chega-se à representação visual dos modelos topográficos e à realidade virtual. Nenhuma abordagem garante um modelo fiel, mas cada uma contribui para maior consistência do que aquela que poderia ser esperada em um modelo enunciado apenas em linguagem verbal.”

A própria representação cartográfica pode ser considerada um modelo, caracterizada pela generalização e síntese segundo os objetivos de representação. BOARD (1971:672) discute o papel da comunicação gráfica, dos mapas, como modelo:

“It is comparatively easy to visualize maps as representational models of the real world, but it is important to realize that they are also conceptual models containing the essence of some generalization about reality. In that role, maps are useful analytical tools which help investigators to see the real world in a new light, or even to allow them an entirely new view of reality.”

MARTIN (1996:65) apresenta quadro das transformações dos objetos da realidade, passando pela organização para a composição da coleção de dados e chegando à modelagem. O quadro objetiva elucidar as diferentes formas de representação até se chegar ao modelo, que é uma simplificação da realidade:


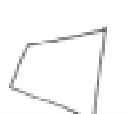










SPATIAL OBJECT	 Population distribution	 Field	 Land surface	 Road
DATA COLLECTION TRANSFORMATION (T1)				
COLLECTED DATA	 'Imposed' area	 'Natural' area	 Point heights	 Generalized line
DATA INPUT TRANSFORMATION (T2)				
DATA MODEL	 'Imposed' area	 'Natural' area	 Surface model	 Generalized line

Fig 5- Exemples of object-class transformations. MARTIN, 1996:61

Assim, tem-se que os recursos de geoprocessamento baseiam-se na utilização de modelos que vão, desde a representação gráfica dos fenômenos estudados, até a proposição de análises e sínteses através de algoritmos de avaliações heurísticas. Nesse sentido, é importante ter claro que os modelos materializam os valores de um contexto da produção científica, um “olhar” que evolui com o tempo e segundo diferentes objetivos. Acredita-se na produção dos modelos como uma “obra aberta”, no sentido proposto por ECO (1988)*¹ pois possibilitam diferentes leituras, adequados à visão integrada da questão ambiental, holística e não atomística, promovendo a leitura da realidade não de forma linear e, sim, marcada pela complexidade. A área analisada é caracterizada segundo pontos de vista de um especialista, mas, fornece dados que podem ser reinterpretados por outros profissionais.

¹ ECO, Umberto. *Obra aberta*; forma e indeterminação nas poéticas contemporâneas. São Paulo, Perspectiva, 1988. Trad. Giovanni Cutolo.

6. Modelando dados para o Geoprocessamento

“Um sistema de informação geográfica é um conjunto integrado de programas (software) especificamente elaborados para serem utilizados com dados geográficos, executando espectro abrangente de tarefas no manuseio dos dados. Essas tarefas incluem a entrada, o armazenamento, a recuperação e os produtos resultantes do manejo dos dados, em adição à ampla variedade de processos descritivos e analíticos.” (CALKINS e TOMLINSON, 1977, apud CHRISTOFOLETTI, 1999:29).

Os dados não têm significado próprio, mas são símbolos usados na representação de fatos, conceitos ou instruções. Para que um dado se torne informação, é preciso conhecer o significado que é atribuído ao mesmo.

Compreendendo o geoprocessamento como um conjunto de técnicas e recursos para o armazenamento e a análise integrada de dados, cabe discutir os processos que envolvem tanto o armazenamento como a análise de dados espacializados.

Inicialmente, o armazenamento de dados requer o preparo dos mesmos para um mínimo de padronização, uma vez que o processo de tratamento dos mesmos irá basear-se no cotejo entre eventos de diferentes naturezas. Assim, a primeira abordagem refere-se à forma de aquisição dados, que podem ser através de *Inspeção Pontual e Generalização*, como também por *Varredura e Integração Locacional*. Os termos aqui apresentados são defendidos por XAVIER-DA-SILVA (1992:48) como uma mudança **metodológica** na coleta de dados, uma vez que a generalização era necessária quando a grande dificuldade era o acesso a dados e, com o advento das técnicas de sensoriamento remoto, o desafio passou a ser a integração dos dados em unidades classificatórias, com a aplicação de algoritmos destinados a associá-los por características comuns.

ROSA e BRITO (1996:58) colocam que o processo de manipulação de dados para a montagem de um sistema de geoprocessamento é compreendido por:

- mudança de escala de mensuração;
- mudança de projeção;
- rotação e translação de coordenadas;
- remoção de distorções (correção geométrica).

Ponto importante a ser considerado no armazenamento dos dados e, também, na correlação dos mesmos, é a escala de mensuração. O trabalho com padronização de escalas permite que dados qualitativos (descrições verbais) sejam apresentados de modo quantitativo (por números) segundo a avaliação ou ranking de suas qualidades. As escalas são nominal, ordinal, de intervalo e de razão (ROSA e BRITO, op.cit:10):

- a) Nominal - é qualitativa ou seletiva. Usando como exemplo o uso do solo, observa-se que os componentes não podem ser hierarquizados, a não ser segundo algum julgamento de valor.

Exemplo: Uso do Solo:

Cobertura Vegetal

Área Urbana

Cursos d'água

Não se pode dizer que a Cobertura Vegetal seja mais ou menos importante que a Área Urbana, a não ser segundo um recorte classificatório como, por exemplo, avaliação do valor da terra para fins de implantação de linha de transmissão de energia elétrica.

Essa escala não permite a aplicação de operações aritméticas, pois não é possível dizer, por exemplo, que “cobertura vegetal” seja o dobro de “área urbana”.

- a) Ordinal - é possível ordenar os componentes segundo grandeza ou preferência, mas também como na classe anterior, não é possível a aplicação de operações aritméticas, mas somente avaliar a frequência e a classe modal. Baseia-se na hierarquização de posições. Usando como no exemplo a classificação de estradas *em municipal, estadual e federal*, observa-se que não é possível dizer que uma seja o dobro da outra.
- b) Intervalar - os intervalos são conhecidos e cada observação pode receber valor numérico preciso. O ponto zero é arbitrário e não indica ausência da característica medida, como o exemplo de temperatura. É infinita em extensão e densidade entre duas posições. A utilização de operações aritméticas é limitada a transformações lineares. Podem-se aplicar técnicas de estatística paramétrica.
- c) Razão - os intervalos são conhecidos e o zero é uma origem verdadeira. Pode-se citar o caso de número de habitantes por município. Os componentes são elencados, classificados e mensurados. Permitem a ampla utilização de operações aritméticas e aplicações de técnicas de estatística paramétrica.

A transformação das escalas nominal e ordinal para intervalo ou razão possibilita a aplicação de operações aritméticas e de técnicas de estatística paramétrica. Componentes são colocados em um *ranking* segundo um olhar, ou recorte, permitindo a atribuição de valores numéricos. Assim, os dados passam por um processo de pré-processamento, visando a padronização que irá permitir os estudos de correlações de variáveis nas avaliações de fenômenos espaciais. O uso dessas classificações, segundo XAVIER-DASILVA (1992:52) está de acordo com a lógica Fuzzy.

A passagem da cartografia analógica (tradicional) para a digital exige os cuidados em georreferenciamento (associação da posição do elemento a malha de referências locais), em resolução (definição da unidade mínima de leitura) e em escolha da forma de estrutura dos dados (em formato vetorial ou em formato raster).

Para o georreferenciamento é importante definir qual o sistema de projeção mais adequado à representação da área enfocada (plana, cônica, cilíndrica ou poliédrica - segundo o tipo de superfície de representação; e conforme, equivalente ou equidistante - segundo a deformação da representação) assim como as malhas de coordenadas para posicionar os elementos (geográficas, UTM, polares, entre outras). (OLIVEIRA, 1980).

A resolução é definida segundo a fonte de dados utilizada. Caso a fonte seja um mapa impresso, deve-se ter em mente que o padrão de exatidão cartográfica define que um bom mapa já apresenta um erro de 0,2 mm de raio na escala do mesmo, ou 0,4 mm de diâmetro. Isto significa que, tendo um mapa em escala de 1:10.000, não é possível obter precisão além de 4 metros. Caso o usuário deseje representar elementos que exijam maior detalhamento, deve optar por outro produto, de melhor resolução. Observa-se, hoje, que é comum que mapas digitais, sem as

devidas anotações sobre suas fontes, sejam utilizados em aplicações que vão além da resolução mínima possível, por falta de cuidados ou conhecimento dos usuários.

As formas de representação de elementos são os pontos (representados por par de coordenadas x/y), as linhas (formadas por pelo menos dois pontos conectados) e os polígonos (superfícies que apresentam áreas dotadas de propriedades topológicas). Esses elementos podem ser organizados em estrutura **raster** ou em estrutura **vetorial**.

Na estrutura vetorial os elementos são representados por vetores, definidos por comprimento, direção e sentido. Baseia-se na geometria euclidiana, na qual o espaço é contínuo. Um ponto é uma reta de comprimento zero, uma linha é definida por ponto inicial e final (comprimento, sentido e direção) e uma área é definida pelos segmentos de reta que a delimitam. Os cálculos, principalmente os relativos a questões topológicas, consomem mais tempo, exigindo algoritmos capazes de trabalhar com a matemática de conjuntos.

Na estrutura raster a base é uma matriz de pontos (“*grid*”), sendo cada ponto um pixel. Um pixel, ou “*picture element*” é a menor unidade de representação da grelha. A relação entre a dimensão da célula de representação e a área que a mesma representa na realidade dá a **resolução** empregada. Assim, se tivermos 100 pontos por polegada (dpi - “*dots per inch*”) isto significa uma **dimensão** de célula bem **maior** do que 500 pontos por polegada, sendo a **resolução** menor. Por trabalhar com uma superfície discretizada, a estrutura raster utiliza a geometria digital. Tanto o ponto, como a linha, como uma área são representados por um conjunto de pixels. Sobre as informações contidas em cada quadrícula, “*pixel*”, ou unidade mínima, TEIXEIRA et alli (1992:17) mostram que “...*ocorre um processo de generalização onde os vários elementos que podem constituir uma quadrícula deixam de ser individualizados*”. Contudo, como já colocado, a aceitação dessa generalização irá depender da resolução empregada e dos objetivos na utilização dos dados espaciais. A resolução empregada deve responder às expectativas de acuidade em termos de posição e de dimensão dos elementos retratados.

A opção por sistema raster ou sistema vetorial significa a opção por diferentes **métodos** para a estruturação de dados. Muito já foi discutido sobre vantagens e desvantagens de uma estrutura ou outra; o ponto principal refere-se à capacidade de armazenamento das informações. A memorização de dados raster é feita como se o espaço cartografado fosse “quebrado” em unidades discretas, e é registrada cada uma dessas unidades. Para os dados vetorizados, por sua vez, são memorizadas as coordenadas dos nós (ou vértices) dos elementos gráficos e as conexões e informações para reconstruir objetos complexos. Na estrutura vetorial, como são memorizados apenas os extremos do segmento, a ocupação de memória é inferior. Observa-se, contudo, uma rápida evolução nos algoritmos de compactação, bem como do suporte hardware para o armazenamento de dados.

TEIXEIRA et alli (1992:29) defendem as vantagens de uso de software de estrutura vetorial no que diz respeito à saída (“*output*”) das informações: “...*as formas de saída convencionais como impressoras e plotter permitem uma apresentação mais adequada dos resultados, não só do ponto de vista estético mas também pelo fato de que o produto final assemelha-se muito mais à forma convencional (analógica) de elaboração de mapas*”.

Os argumentos acima apresentados podem ser questionados quando se apresenta a possibilidade de utilização de produtos de boa resolução (maior número de pixels ou pontos por polegada). Verifica-se, ainda, um forte apego às referências da cartografia analógica ou tradicional, pois

espera-se do produto final um “**desenho**” que se assemelhe a um produto antes elaborado pelo homem. MOURA (1999:60-61) ao abordar a questão da comunicação visual e das linguagens hoje utilizadas pela cartografia digital, faz uma relação entre a representação raster e o modo Impressionista na pintura. Segundo a autora, as pessoas se sentem mais confortáveis com o desenho vetorial porque ele se aproxima da linguagem de desenho que utilizamos para representar uma forma qualquer. Quando vamos desenhar uma simples flor, que seja, o fazemos através de suas linhas de contorno, e não através dos micropontos que compõem sua imagem. O único momento da linguagem de desenho em que essa forma de olhar o mundo foi alterada ocorreu no Impressionismo, quando os artistas passaram a representar as imagens através da justaposição de pequenos pontos, que deveriam ser vistos a uma certa distância para que conformassem a todo. Pode-se dizer que os impressionistas discretizavam a imagem para recompô-la através da pintura. O processo exige capacidade de análise e síntese, mais complexos para a linguagem de desenho, mas absolutamente possível para a tecnologia do geoprocessamento.

Dentro desse mesmo raciocínio, pode-se dizer que as estruturas raster são mais orientadas para a posição, enquanto as estruturas vetoriais são mais orientadas para o tema. No raster, armazenam-se características que são associadas a localizações, enquanto no vetorial registram-se localizações que são associadas a características. Por essa razão, estruturas raster se adaptam melhor à interpretação do **onde**, enquanto estruturas vetoriais se adaptam melhor às interpretações de **o quê**.

A grande dificuldade no geoprocessamento e na escolha dos processos metodológicos a serem adotados reside, ainda, na expectativa dos usuários em comparar produtos analógicos e suas metodologias com os produtos digitais. Isto acontece quando da tentativa de comparação de estruturas raster e vetorial. Esse aspecto é também ressaltado por XAVIER-DA-SILVA (1999c:10-11) que diz que “*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*”. Por outro lado, “*para o geoprocessamento é fundamental que o dado ambiental seja digitalmente representado de maneira integral, isto é, com seus atributos geométricos (localização, forma e extensão), lógicos (qualificação taxonômica) e topológicas (relações com outras entidades representadas)*.”

OLIVEIRA et alli (1994:35-36) defendem a adoção das estruturas raster, alegando que:

“One of the most important operation on a GIS is overlay, which is facilitated if the maps are on a raster format. The raster represents the data in a more realistic (although less aesthetically pleasing) than its vector counterpart. Zooming operations in raster show the data at most basic unit: the pixel. In opposition, a vector system zoom maintains the topology at any scale, although some approximation and manipulation is always executed but under a sort of hidden form.”

Clareando a discussão que já ocupou muitas páginas de publicações, TOMLIN (1990:44) coloca: “*yes, raster is faster, but raster is vaster, and vector just seems more correcter*”. A definição é bastante elucidativa, pois salienta que o problema relacionado à estrutura raster baseia-se no armazenamento, uma vez que é memorizado cada microponto que compõe o desenho. Por outro lado, as análises e correlações são mais rápidas, uma vez que a topologia é implícita ao modo de registro das variáveis. O autor ressalta, ainda, que o vetorial só se parece mais correto, mas na verdade não o é. O vetorial é, muitas vezes, considerado mais correto

porque se aproxima da linguagem convencional de desenho, baseada em linhas, como já colocado. Contudo, essas linhas são generalizações cartográficas que têm sua correção geométrica limitada a diversos fatores, tais como processos de interpolação, resolução taxonômica, entre outras. A estrutura raster, por sua vez, apresenta a correção definida pela resolução adotada pelo pixel.

HISSA (1998) ao discutir a questão das fronteiras, irá falar também de limites, tema constante, ainda que não abordado diretamente, nas pesquisas geográficas, uma vez que, ao se retratar um território, passa-se, necessariamente, por um processo de generalização. Algum nível de generalização sempre ocorre em diferentes escalas e etapas da análise espacial. Aqui, enfocando a situação da representação raster e da representação vetorial, cabe, também, discutir o que seria o “mais preciso” e, até que ponto, essa noção de precisão resulta em interferências nas avaliações dos objetos mapeados. Assim, o trabalho de HISSA (op. cit.: 36-37) fornece reflexões sobre os limites:

*“A própria noção de limite parece reunir os requisitos para se colocar entre o **vago** e o **preciso**. A fronteira: almeja a precisão e se insinua como muro, mas contraditoriamente se apresenta como **transição**, como mundo do permanente ‘vir a ser’ e da ausência pulsante.”*

*“Fronteiras e limites reclamam pela exatidão, pela presença inusitante da linha visual que muitas vezes não possuem. Fronteiras e limites reclamam pela imagem, pelo **marco**, matéria e concretude que, substituindo a abstração, possam fornecer a idéia de exatidão.”*

Uma vez trabalhadas as entradas de dados em banco de dados cartográficos e banco de dados alfanuméricos, é importante discutir como se dará a interface entre eles. A associação de dados cartográficos a alfanuméricos significa o uso integrado de um SGI (Sistema Geográfico de Informações) com um SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados), esse último com dados de caráter tabular, convencionais. A associação, segundo OLIVEIRA (1999:1) é feita com a utilização de um título de identificação das feições que faça a conexão com o registro no banco de dados, sendo indicado o uso de *campo-chave*.

O modelo Entidade-Relacionamento (*Entity-relationship*), segundo OLIVEIRA (1994:37) organiza os dados da seguinte maneira:

- entidade - objeto do mundo real com existência independente (ex.: um lote)
- grupo de entidades (*entity-set*) - grupo de entidades do mesmo tipo (ex.: lotes)
- atributos - propriedades usadas para descrever as entidades (ex.: área, zoneamento, proprietário)
- atributo chave - permite a distinção de cada entidade pertencente a um grupo de entidades (ex.: número do lote)
- relacionamento (*relationship*) - são entidades de conexão de associação definidas pela cardinalidade (o número de elementos de um grupo de entidades que pode ser relacionado a cada elemento de um outro grupo de entidades através de um relacionamento). (ex.: eu tenho “n” lotes em um grupo de entidades que serão associados a um outro grupo de entidades relativo a “m” tipos de uso do solo).

Deve-se abordar, ainda, o uso de recursos de gradeamentos e interpoladores, que são utilizados quando o tratamento de dados requer uma distribuição geometricamente regularizada dos

pontos. Nas escalas nominal e ordinal, nas quais as operações numéricas são restritas, o ideal é utilizar “o vizinho mais próximo”. São exemplos de gradeamentos e interpoladores: (BONHAM-CARTER, 1994) e XAVIER-DA-SILVA (1999a):

- Triangulação de Daulenay
- Splines, ou ajustes de sucessivas curvas;
- Raio de busca para uso da influência dos pontos na área
- geoestatística utiliza a krigagem para gerar superfícies de tendência e levar em consideração os arranjos espaciais.
- ao trabalhar com escala ordinal é possível identificar os níveis de correlação entre diversos pares dos planos de informação através do coeficiente de correlação de Spearman;
- ao trabalhar com escalas de intervalo e razão é possível utilizar o coeficiente paramétrico de Pearson, definindo índices de sua validade (covariância e variância total, a partir de distribuições de frequência).

7. Considerações finais - o geoprocessamento como um processo metodológico baseado na análise sistêmica

BUNGE acreditava que “na ciência, a metodologia não se afirma por si mesma. Só o conteúdo avalia a metodologia. A teoria necessita de experimentação. Se o trabalho real é bom, então há que se perguntar ao cientista pelos seus métodos. Mas na religião é o contrário: a metodologia é tudo, o dogma nunca se põe à prova.” (MENDONZA, 1982).

Uma das principais contribuições metodológicas do geoprocessamento à pesquisa geográfica é, certamente, a possibilidade de se implantar processos de análise que, quando trabalhados em termos conceituais, pareciam por demais complexos para serem adotados. Trata-se da possibilidade de adoção da abordagem e análise **sistêmicas**, conceitos que trouxeram para o estudo científico que lida com complexa gama de variáveis, em especial para as ciências espaciais, grande ganho na aproximação entre o modelo de estudo e a realidade.

Um sistema é compreendido como um conjunto de partes que interagem, que não estão somente agregadas, mas sim correlacionadas. Ele é composto pelos elementos (ou objetos), os estados (ou propriedades dos objetos) e as relações entre os elementos e os estados. Os elementos apresentam características que os definem (peso, massa, idade, cor,...). Os estados são definidos pelos valores das variáveis em um determinado local e em um determinado momento. As variáveis, por sua vez, podem ser externas ou internas ao sistema (endógenas ou exógenas); sendo que a maioria dos sistemas em geografia necessitam da alimentação através de variáveis externas.

A defesa da abordagem sistêmica em geografia não é recente. Defendendo o ganho que os estudos em geografia teriam com a adoção da análise sistêmica, HUGGETT (1980:187) colocava como vantagens do processo:

“... first its ability to model several interconnected system components acting in concert; in the second, tell of the advances made in modelling spatial systems; and, to conclude, describe the problem of modelling system evolution.

This overturnings, and there have been at least four of them, have gone hand in hand with the progress of geography, each having begun a new stage in geographical thinking. The first stage involved field study of systems of interest - soils, landforms, plants, settlements, and so on - to establish criteria for their classification; in other words, sorting out morphological system components. In the second stage, interest was directed to describing the development of morphological system components as a progression in time in response to some underlying genetic process.”

A visão integrada dos fatores geográficos, que estão em interação e em constante mudança, é privilegiada por essa abordagem. A geografia pode ser caracterizada, como defende SANTOS (1996), como um **sistema de objetos e de ações**, por uma visão holística e não atomística. A grande dificuldade, a princípio, era lidar com o grande número de variáveis necessárias para que a modelagem se aproximasse, o máximo possível, da realidade; o esforço significativo na especificação e montagem das várias relações existentes; além dos cuidados exigidos na definição de fronteiras (*boundaries*) para o sistema. Com o advento do geoprocessamento, a questão da manipulação de complexo banco de dados, tanto espaciais (cartográficos) como alfanuméricos, foi resolvida, assim como dos recursos existentes para a definição das interrelações entre variáveis.

A adoção de análises sistêmicas, segundo HUGGETT (1980:20) apresenta quatro fases: o léxico (*lexical phase*), as relações (*parsing phase*), a modelagem (*modelling phase*) e a análise (*analysis phase*):

- O léxico - É como estabelecer o vocabulário para uma língua, o que significa o reconhecimento dos componentes básicos do sistema. O primeiro passo é definir uma hipótese a ser testada, ou uma questão a ser respondida, que seja de interesse do sistema. O segundo passo é definir os limites do sistema, com a separação entre o mesmo e o ambiente onde ele está inserido. O terceiro passo é a escolha do estado das variáveis que irá definir o estado dos componentes do sistema.
- As relações - Correspondem às regras gramaticais em uma linguagem, regras que governam as relações entre as palavras. Podem ser estabelecidas através de equações teóricas, equações empíricas ou simples coeficientes de correlação.
- A modelagem - Em um primeiro passo são elucidados os mecanismos através dos quais ocorrem mudanças no sistema. Componentes, medições e estabelecimentos de suas interrelações são colocados juntos para se formar um modelo. No segundo passo o modelo é operacionalizado, ou calibrado, dando valores, ou parâmetros, atuais e constantes.
- A análise - Nessa etapa o modelo é equacionado, resolvido, para produzir resultados e se verificar a necessidade em se fazer ajustes (retroalimentação ou *feedback* do estudo).

Um sistema de geoprocessamento tem como objetivo a **análise** de dados espaciais, que deve resultar em ganho de informação a respeito da realidade enfocada. Verifica-se que os processos que são incorporados pelo termo “geoprocessamento” (cartografia digital, sensoriamento remoto e, principalmente, o sistema informativo geográfico) requerem abordagem sistêmica em sua montagem. Deve-se definir o que está sendo mapeado, quais as variáveis compõem a análise, as características das variáveis, as relações entre as partes. Deve-se modelar um sistema e ajustá-lo frente à realidade. Os sistemas informativos geográficos, hoje, apresentam ferramentas de tratamento de dados que permitem a aplicação de modelos matemáticos na análise espacial. Podem ser citados os modelos de interação (modelo gravitacional, estudos de origem/destino), os modelos estocásticos (Markov-chain, Monte Carlo), entre outros. O ganho que se observa na aplicação desses modelos dentro de um SIG é a otimização da espacialização dos fenômenos, gerando informações que podem ser correlacionadas a outras adquiridas em outros modelos.

O uso de modelos não constitui novidade, pois Ravenstein, em 1885, já desenvolvia estudos sobre o princípio de atração e interação entre massas, baseado nos princípios de Newton. O que se destaca, na utilização do geoprocessamento, é a maior facilidade em se montar, testar e ajustar modelos, operando no processo de “calibragem”, quando as interrelações e os pesos dos diversos componentes são ponderados, de modo a reproduzir, da melhor maneira possível, a realidade. Uma vez montado um sistema informativo geográfico que seja uma representação virtual de uma situação geográfica, é possível realizar estudos preditivos, de relações de causa e efeito, de “*if...then*”. Trata-se do estudo de **cenários**, que geram subsídios para intervenções mais seguras em uma realidade sócio-espacial.

O estudo de cenários é etapa importante na gestão ambiental. Por gestão entende-se o acompanhamento monitorado das alterações no tempo e no espaço. Não se pode falar em gestão com um sistema que não possibilite a entrada de dados, ou alimentação constante, dando à

representação o caráter de quarta dimensão: a dimensão **tempo**. Uma vez montado um **modelo digital do ambiente**, através dos sistemas informativos geográficos, é fundamental a constante atualização das informações, a calibração dos dados face às mudanças da realidade e a revisão das relações entre as variáveis; acompanhando, assim, a dinâmica espaço-temporal. HUGGETT (1980:192) destaca a importância da atualização do sistema quando aborda os obstáculos ainda enfrentados pela análise sistêmica:

“Perhaps the biggest problem in systems analysis is to integrate system structure and function with system evolution. Gerard (1969) distinguished three facets of systems: being, or structure; behaving, or function; and becoming, which subsumes development and evolution. (...) The relation between structure, function, and history has never been resolved.”

O que se observa nas avaliações a respeito da grande difusão das tecnologias do geoprocessamento e da adoção dos Sistemas Informativos Geográficos nos estudos em geografia, é uma constante crítica a respeito da falta de desenvolvimento de novas metodologias e de embasamento conceitual. O geoprocessamento, hoje, reflete teorias e metodologias desenvolvidas na época da geografia teórica e, principalmente, da **abordagem sistêmica**. A adoção da análise sistêmica é, por si só, um caminho seguro para o geoprocessamento, mas na maioria dos sistemas montados, nem esses conceitos são contemplados. Trata-se de um momento em que notamos *“Novos rumos, velhas metodologias...”*¹

“As ciências espaciais encontram-se em uma fase em que os recursos disponíveis para as análises e interpretações apresentam grande avanço, tornando-se a tônica das pesquisas hoje realizadas nas áreas de urbanismo, geografia, geologia, ambientalismo, economia e inúmeros órgãos de planejamento. Contudo, observa-se a supervalorização dos meios em detrimento dos fins, e pouca preocupação com a metodologia de trabalho adotada e, principalmente, com a adequação do pensamento científico às tendências e exigências da era pós-moderna.

Espera-se, como passo fundamental para o desenvolvimento do geoprocessamento no Brasil, chegar a uma fase em que o mesmo se torne um campo, como em outros países, em que a fascinação com os instrumentos amadureça para a preocupação com o modo no qual os mesmos estão sendo usados.

Com o pensamento pós-moderno, a realidade espacial passa a ser vista como um conjunto complexo de variáveis interrelacionadas, que em situações diferentes apresentam sistemas diferentes de correlações. O pós-modernismo privilegia a complexidade, o convívio de diferentes valores e a visão plural de mundo.” (MOURA, 1996)

Em 1991, GOODCHILD, discutindo a difusão do SIG e alertando para o fato do mesmo estar sendo utilizado como mera “caixa de ferramentas” (*toolbox*), defende a criação de uma *“Geographic Information Science”*.² Na mesma oportunidade, o autor vai colocar que as carências em geoprocessamento estão no usuário; não a respeito de informática, mas sim de conceitos, de princípios em análise espacial.

¹ Em 1996, no Io. SEGEO- Seminário Estadual de Geoprocessamento, no Rio de Janeiro, já escrevíamos artigo alertando para o fato, intitulado *“Novos rumos, velhas metodologias: questionamento do aproveitamento real das potencialidades dos Sistemas Informativos Geográficos”*.

² Goodchild. *Geographic Information Science. Progress in Human Geography*, 1991, 15- 2:194-200.

O mesma preocupação é manifestada por MARTIN (1996:69), que alerta para o fato que a potencialidade inicial de um SIG, que é a de manipulação de complexo banco de dados cartográficos e alfanuméricos, não deve se destacar em relação à principal potencialidade do sistema, a **análise espacial**: “...this kind of problem implies the need for spatial analysis rather than simple data retrieval or calculation.” Ele usa o termo “toolbox” de modo pejorativo, alertando para a necessidade de desenvolvimento de conceitos: “... there is an appropriate role for GIS to serve as a toolbox for many disciplines, but there is a long way to go from the practical problem solving to the different approach to thinking.” (op.cit.:70) e “GIS has the potential to make them more than merely a “toolbox” of algorithms for geographic data manipulation, is the presence of a dynamic “model” of the geographic world.” (op.cit.:185). O autor cita LAURINI e THOMPSON (1992:24, apud MARTIN, op.cit.:69), que também utilizam o termo “toolbox” para explicar o motivo da rápida difusão do SIG, e que acreditam que, através da adoção da tecnologia, possam se desenvolver novas maneiras de compreensão da realidade:

“As a set of software processing routines in a hardware setting they are a new kind of toolbox for practical problem solving. As a new resource compared with paper based making, they represent a new technology; and, through their emphasis on spatial data, they stand for many people, for a different approach to thinking about problems and knowledge.”

Observa-se que muitos dos recursos e teorias que já foram incorporados ao SIG foram norteados por estruturas de software e hardware. Acredita-se, assim, que o futuro do geoprocessamento esteja, de uma forma madura, no investimento em conceitos de **Sistemas Especialistas** (Expert-Systems), da **lógica Nebulosa** (lógica **Fuzzy**), das noções de **tempo e espaço relativos**, assim como da real aplicação dos princípios de **análise sistêmica**.

Por mais que os encantos da técnica nos seduzam, e nos levem a acreditar numa realidade virtual modelada pelo geoprocessamento, há de se destacar a importância do embasamento conceitual que fornece os pilares para a geração dos modelos de análise. O geoprocessamento é caracterizado por processos metodológicos de análise espacial, em aplicações de modelos que são simplificações da complexa realidade.

Como iniciamos o presente estudo citando BORGES, através do conto “**Os dois reis e os dois labirintos**”, concluímos, por ora, também com as palavras do escritor. Aqui parafraseamos HISSA (1998), que adota o conto de BORGES “**Do rigor na ciência**”, da obra “O Fazedor”, de 1960^{*1}, para discutir a questão das fronteiras, da ciência moderna e de seus rigores:

“Naquele império, a arte da cartografia atingiu uma tal perfeição que o mapa duma só província ocupava toda a cidade, e o mapa do império, toda uma província. Com o tempo, esses mapas desmedidos não satisfizeram e os Colégios de Cartógrafos levantaram um mapa do império que tinha o tamanho do império e coincidia ponto por ponto com ele. Apegadas ao estudo da cartografia, as gerações seguintes entenderam que esse extenso mapa era inútil e não sem piedade o entregaram às inclemências do sol e dos invernos. Nos desertos do oeste subsistem despedaçados ruínas do mapa, habitados por animais e por mendigos. Em todo o país não resta outra relíquia das disciplinas geográficas.”

¹ BORGES, Jorge Luis. **Obras completas II**. Rio de Janeiro, Globo, 1998. p.247.

8. Referências Bibliográficas

- ANDRADE, Rui Otávio B., TACHIZAWA, Takeshy, CARVALHO, Ana B. *Gestão ambiental*; enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável. São Paulo, Makron Books, 2000. 206 p.
- BOARD, C. Maps as models. In.: CHORLEY, J., HAGGET, P. *Models in Geography*. London, Methuen, 1971. p.671-725.
- BORGES, Jorge Luís. Os dois reis e os dois labirintos. In.: __. O Aleth. Buenos Aires, 1949. Tradução de Flávio José Cardoso. *Obras completas I*. São Paulo, Globo, 1998. p.676.
- _____. Do rigor na ciência. In.: __. O Fazedor. Buenos Aires, 1960. Tradução de Flávio José Cardoso. *Obras completas II*. São Paulo, Globo, 1998. p.247.
- BONHAM-CARTER, Graeme F. *Geographic Information Systems for Geoscientists*; modelling with GIS. Ottawa, Pergamon, 1994. 398 p.
- BUZAI, Gustavo, CUETARA, Osvaldo, BAXENDALE, Claudia. El hecho geografico como unidad de tratamiento matricial; revalorizacion en geoinformatica y actuales perspectivas de aplicacion en la investigacion en geografia. Buenos Aires, *Territorios en redefinicion*, mar. 1997. p. 285.
- CHORLEY, J., HAGGET, P. Models, Paradigms and the New Geography. In.: _____. *Integrated Models in Geography*. London, Methuen, 1967. p.9-41.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo, Edgard Blucher, 1999. p. 1-75.
- COWEN, David. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? In.: PEUQUET, Donna, MARBLE, Duane. *Introductory readings in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis, 1990. p.52-61.
- DAMATO, Marcelo. Saiba o que é teoria do Caos. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 13 jun. 1993. p.15.
- DANGERMOND, Jack. A classification of software components commonly used in Geographic Information Systems. In.: PEUQUET, Donna, MARBLE, Duane. *Introductory readings in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis, 1990. p.30-51.
- DAUPHINÉ, André. *Chaos, fractales et dynamiques en géographie*. Montpellier, GIP Reclus, 1995. 136 p.
- LEVINE, Robert I., DRANG, Diane E., EDELSON, Barry. *Inteligência artificial e sistemas especialistas*. São Paulo, McGraw-Hill, 1988. p.97-128.
- FERREIRA, Conceição C., SIMÕES, Natércia N. *A evolução do pensamento geográfico*. Lisboa, Gradiva, 1986. 140 p.

- FRACCAROLI, Caetano . *O fenômeno da forma e sua relação com o fenômeno artístico; o problema visto através da Gestalt (psicologia da forma)*. São Paulo, FAU-USP, 1982. 32 p.
- GARNHAM, Harry. *Maintaining the spirit of place*. Mesa, PDA Plub., 1985. 197 p.
- GLEICK, James. *Caos: a criação de uma nova ciência*. Rio de Janeiro, Campos, 1990. 349 p.
- HISSA, Cássio E. V. *A mobilidade da fronteira: inserções do conhecimento sócio-espacial na crise da modernidade*. Rio Claro, Unesp, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 1998. 396 p. (Tese de Doutorado).
- <http://www.digitalearth.gov/vision.html>. The Digital Earth: understanding our planet in the 21st Century. Al Gore, 31 de janeiro, 1998. California Science Center, Los Angeles.
- HUGGETT, Richard. *Systems analysis in geography*; contemporary problems in geography. Oxford, Clarendon Press, 1980. 208 p.
- MACHADO, Patrícia S. *A cartografia digital como instrumento de análise físico-geográfica*. IGC-UFMG, 1999. (Monografia de Graduação).
- MARBLE, Duane. Geographic Information Systems: an overview. In.: PEUQUET, Donna, MARBLE, Duane. *Introductory readings in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis, 1990. p.8-17.
- MARINI, Mauro. Le potenzialità dei sistemi grafici interattivi. In.: SECONDINI, Piero (org). *La conoscenza del territorio e dell'ambiente*; il ruolo delle tecnologie dell'informazione. Milano, Enitade, 1988. p.199-153.
- MARTIN, David. *Geographic Information System*; socioeconomic applications. London, Routledge, 1996. 210 p.
- MENDONZA, I. et alli. El pensamiento geografico, 1982. In.: FERREIRA, Conceição C., SIMÕES, Natércia N. *A evolução do pensamento geográfico*. Lisboa, Gradiva, 1986. p. 137.
- MORAES, Antônio Carlos R. *Geografia: pequena história crítica*. São Paulo, Hucitec, 1994. 138 p.
- MOURA, Ana Clara Mourão. *Estudo metodológico de aplicação da cartografia temática às análises urbanas*. Belo Horizonte, IGC-UFMG, 1993. 210 p. (Dissertação de Mestrado).
- MOURA, Ana Clara Mourão. O papel da cartografia nas análises urbanas; tendências no urbanismo pós-moderno. Belo Horizonte, *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, PUC.MG, 1994. p.41-73.
- MOURA, Ana Clara Mourão. Novos rumos, velhas metodologias: questionamento do aproveitamento real das potencialidades dos Sistemas Informativos Geográficos. Rio de Janeiro, *Io. SEGEO-Seminário Estadual de Geoprocessamento*, 1996.

- MOURA, Marcela Mourão. *As representações gráficas aplicadas a variáveis ambientais em minerações de ferro a céu aberto*. Belo Horizonte, IGC-UFMG, 1999. 121 p. (Dissertação de Mestrado).
- OLIVEIRA, Ceurio de. *Dicionário cartográfico*. Rio de Janeiro, IBGE, 1980.
- OLIVEIRA, Osmar M., XAVIER-DA-SILVA, Jorge, ALMEIDA, Luís Fernando. Methodology for associating a conventional database to a geographical information system: The Saga/UFRJ case study. Florianópolis, *1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário*, ago. 1994. p. 35-39.
- OLIVEIRA, Osmar Moreira. *Integração de Sistemas Geográficos de Informação e Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados*. UFRJ, 1999. 3 p.
- PEUQUET, Donna, MARBLE, Duane. *Introductory readings in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis, 1990. 371p.
- ROSA, Roberto, BRITO, Jorge Luís. *Introdução ao geoprocessamento; sistema de informação geográfica*. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 1996. 104 p.
- RUELLE, David. *Acaso e Caos*. São Paulo, Unesp, 1993. p.17-23.
- SANTOS, Milton. *A natureza do espaço; técnica e tempo, razão e emoção*. São Paulo, Hucitec, 1996. 308 p.
- SECONDINI, Piero (Org.) *La conoscenza del territorio e dell'ambiente; il ruolo delle tecnologie dell' informazione*. Milano: Enidata, 1988. 269p. (Coleção Dati & Fatti).
- SEIXAS FILHO, Costantino. *Introdução à lógica nebulosa; aplicada em sistemas de automação industrial*. Belo Horizonte: ATAN - Sistemas de Automação, 1993. p.3-6. (apostila)
- TEIXEIRA, Amandio, CHRISTOFOLETTI, Antônio, MORETTI, Edmar. *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica*. Rio Claro, 1992. 80 p.
- TOMLIN, Dana. *Geographic Information Systems and cartographic modeling*. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs. 1990. 249p.
- TOMLINSON, R. Geographic Information System - new frontier. In.: PEUQUET, Donna, MARBLE, Duane. *Introductory readings in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis, 1990. p.18-29.
- UBIRAJARA-DA-SILVA, Adriana B. *Um ensaio sobre a Teoria do Caos no fenômeno urbano*. Belo Horizonte, EA-UFMG, 1998. 86 p. (Monografia de Especialização, orientação Profa. Ana Clara M. Moura).
- XAVIER-DA-SILVA, Jorge, CARVALHO FILHO, Luís M. Sistemas de Informação Geográfica: uma proposta metodológica. São Paulo, *Anais da IV Conferência Latino Americana sobre Sistemas de Informação Geográfica, 2º Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*, 1993. p. 609-629.

- XAVIER-DA-SILVA, Jorge. A digital model of the environment: an effective approach to areal analysis. *Anais da Conferência Regional Latinoamericana*. Rio de Janeiro, IBGE, 1982. v.2, p.281-288.
- XAVIER-DA-SILVA, Jorge. *Acesso a dados e transformações preparatórias à análise ambiental*. Rio de Janeiro, Lageop, 1999. 12 p. (apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento).
- XAVIER-DA-SILVA, Jorge. *Estruturas lógicas de análise e integração*. Rio de Janeiro, Lageop, 1999. 14 p. (apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento).
- XAVIER-DA-SILVA, Jorge. Geoprocessamento e análise ambiental. Rio de Janeiro, *Revista Brasileira de Geografia*, no. 54, jul/set 1992. p. 47-61.
- XAVIER-DA-SILVA, Jorge. *Geoprocessamento para análise ambiental*. Rio de Janeiro, Lageop, 1999. 15 p. (apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento).
- XAVIER-DA-SILVA, Jorge. *SIG's: uma proposta metodológica*. Rio de Janeiro, Lageop, 1999. 24 p. (apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento).