

FERREIRA, MC - CONSIDERAÇÕES.....
In: Vitti, A.C. - Contribuições à
história e à epistemologia
da geografia. Bertrand Brasil,
RJ, 2006. pp. 101-125

CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS SOBRE AS ORIGENS E A INSERÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA GEOGRAFIA

Marcos César Ferreira

1. INTRODUÇÃO

O recente crescimento do número de usuários de sistemas de informação geográfica (SIG) e de mapas, tanto no Brasil como em significativa parte do mundo atual, é um indicador da consolidação da idéia de que avançamos progressivamente em direção a uma sociedade informacional. Um dos mais notáveis paradigmas da faceta informacional desta sociedade é a gestão e o domínio da informação territorial, principalmente agora que nos envolvemos como partícipes ativos ou passivos de uma comunidade capitalista cada vez mais desigual e globalizada.

Neste novo contexto paradigmático têm surgido sistemas compostos de softwares voltados para a análise de informações geográficas. Entidades governamentais, empresas e instituições de pesquisa têm investido capitais de grande monta no desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de armazenar, gerenciar e analisar mapas ou informações espaciais. O uso e o acesso de determinadas camadas sociais a estes sistemas têm crescido principalmente devido à ação conjunta de três fatores tecnoeconômicos: expansão dos investimentos em informática, produção de microprocessadores com capacidade de processamento cada vez mais rápida e a acentua-

da queda nos preços dos microcomputadores e seus periféricos (Antenucci et al., 1991). Como consequência deste quadro, tem havido um notável crescimento da comunidade de usuários de informações espaciais, a qual é consumidora potencial de sistemas de informação geográfica.

Devido ao perfil iminentemente comercial atribuído aos SIG, não tem sido a principal preocupação desta comunidade o debate sobre conceitos e paradigmas da análise espacial — esta a razão máxima e condição primordial da existência de um SIG. Neste momento em que equivocadamente novas metodologias confundem-se com novos softwares e novas versões de sistemas, torna-se urgente resgatar as origens teóricas e metodológicas do SIG como instrumento de planejamento e análise espacial em detrimento das apologias de performance dos SIG — tarefa esta já delegada às inúmeras feiras de geoprocessamento organizadas no Brasil.

A postura geotecnológica exclusivista e tecnocrata do geoprocessamento ignorou o poder da análise espacial, entendendo-a apenas como sinônimo de “comandos” existentes nos SIG. Ora, um SIG só funciona porque foi desenhado com base em técnicas de análise espacial transformadas em funções por meio de linguagens de programação.

Influenciados por pressupostos estatísticos e modelos matemáticos derivados da geometria analítica, os algoritmos de análise espacial foram rapidamente adaptados a softwares por meio de linguagem computacional relativamente simples. Por conseguinte, transformar-se em coração de um SIG não foi tarefa difícil. Desde meados da década de 1960 — ambiente dominado pelo paradigma da quantificação do fato geográfico em detrimento de sua visualização —, até o início de século XXI, instante em que a visualização do fato geográfico numerizado já é possível graças a softwares residentes em SIG, as técnicas de análise espacial têm sido aplicadas com sucesso em diferentes campos do conhecimento geográfico.

Os estudos abrangidos sob o termo *ambiental*, por exemplo, têm sido os mais beneficiados pela aplicação da análise espacial. Em razão da integração entre sistemas CAD e sistemas imageadores remotos de dados terrestres, assiste-se ao aparecimento de numerosas pesquisas cuja temática central é a bacia hidrográfica, a capacidade de uso do solo, a suscetibilidade à erosão, o mapeamento geotécnico e a poluição dos recursos hídricos entre dezenas de outras aplicações da análise espacial.

As pesquisas socioeconômicas, talvez pela refratariedade resultante de algumas posturas geográficas originadas talvez da época da geografia crítica brasileira, contrárias à parceria entre a informação socioespacial e o sistema de informação geográfica, têm tardiamente incluído o SIG como um dos instrumentos de análise e compreensão social do espaço geográfico. Esta refratariedade não aconteceu com as ciências sociais, a arquitetura, a demografia e o planejamento, que têm amplamente adotado o paradigma da análise espacial em SIG.

A expressão *análise espacial* tem sido utilizada na atualidade também como significado de *mapemática*, o qual prescinde a associação entre as técnicas de análise numérica de mapas, a cartografia temática e o sistema de informação geográfica. A mapemática, ao mesmo tempo que cria imagens de quantidades analíticas do espaço geográfico, produz também valores numéricos a partir das variáveis visuais do mapa temático por meio de operações de análise espacial. Novos mapas são produzidos a partir da mudança de estrutura visual de outros mapas, o que, por conseguinte, gera novos valores numéricos organizados em tabelas que são analisados estatisticamente.

Os dados geográficos digitais são produtos da sociedade informacional, significando “quantuns” de informações. A informação geográfica, ou o dado geográfico acompanhado de explicações comunicadas em mapas, é sobretudo informação espacialmente endereçada em formato gráfico e baseada em dados (bits).

Já o conhecimento geográfico é a informação geográfica utilizada em um determinado contexto metodológico para explicar um fenômeno, enquanto a sabedoria geográfica inclui, além de dados, informações e conhecimento, o tempo e a raridade (Berry, 1993). A sabedoria é importante porque demanda tempo para adquiri-la e não se encontra com frequência em mídias. A sabedoria e o conhecimento contêm como ingredientes diferenciais a criatividade e a disciplina de pesquisa — as quais não encontramos nos dados.

Embora a velocidade do crescimento na disponibilidade de dados geográficos duplique ou triplique anualmente devido à rede mundial de computadores, isto não significa que conhecimento e sabedoria em SIG terão igual desempenho. Sabedoria e conhecimento em SIG provêm tam-

teórico-metodológico, o qual transcende os limites dos tutoriais e das demais estratégias comerciais, hoje transformados oportunamente em “análise espacial”.

Um sistema de informação geográfica não é apenas um ícone da era do “automático”, da “rapidez”, da “precisão” e da “eficiência”, como insistem os executivos e os profissionais de propaganda da indústria geotecnológica. É também uma etapa evolucionária da análise espacial.

O coração de um SIG é a análise espacial. Para se entender a análise espacial no contexto deste sistema é fundamental dar atenção a alguns paradigmas para posteriormente entender-se o significado de um sistema de informação geográfica.

Busca-se, neste trabalho, apresentar os alicerces teóricos e metodológicos e as origens do SIG na geografia, apoiando-se nos paradigmas da escola espacial da geografia, cujos debates foram com maior efervescência notados nos anos 1950 a 1970, nos Estados Unidos e na Inglaterra. Além disto, é também intenção deste texto tornar claro que o SIG tem como característica primordial a integração entre os campos de conhecimento geográficos, sendo sua práxis adequada à esfera do planejamento e à tomada de decisão em geografia.

2. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS DA ANÁLISE ESPACIAL PRATICADA EM SIG

2.1. AS ABORDAGENS COROLÓGICA E ESPACIAL NA GEOGRAFIA

A geografia contemporânea tem reservado à análise espacial o sinônimo de conjunto de técnicas de manipulação de dados espaciais, amplamente influenciado pela estatística. O vislumbrar desta temática por alguns geógrafos brasileiros estritamente pelo seu lado mais numérico impossibilita o desvendar as bases teórico-metodológicas que prescindiram o atual desenvolvimento da abordagem espacial implementada no formato de softwares em sistemas de informação geográfica

Por isto, buscar as origens e o arcabouço do pensamento espacial na geografia é tarefa fundamental neste momento, já que as pesquisas contemporâneas que adotam instrumentais geotecnológicos têm tentado mostrar equivocadamente que o SIG nasceu dentro dele próprio. A nós parece pertinente aqui evidenciar que as técnicas de análise espacial disponíveis em um sistema de informação geográfica foram concebidas sem a necessidade prioritária de computadores — surgiram como produtos da tradição geométrica ou espacial da geografia anglo-saxônica dos meados do século XX.

Os excelentes estudos desenvolvidos por Robert David Sack nos anos 70 (1973; 1974a; 1974b) delimitaram o alcance e a essência de duas das principais abordagens da ciência geográfica, no interior das quais podemos encontrar as bases da análise espacial produzida atualmente em SIG.

Neste contexto de debates, Sack (1974b) diferencia com propriedade as escolas corológica e espacial, responsáveis por concepções antagônicas — mas complementares — sobre a natureza das questões geográficas, vistas como “teses e antíteses em uma dialética geográfica” (p. 439). Como forma de emblemar resumidamente esta dicotomia, trazemos ao leitor a afirmação do mesmo autor de que “a escola corológica enfatiza a natureza e as relações entre lugares ou regiões específicas, e a escola espacial enfatiza o arranjo geométrico de padrões de fenômenos” (p. 440). Agrupa-se no arcabouço da visão corológica o pensamento da escola francesa liderado por Vidal de La Blache e pela antropogeografia germânica praticada por Ratzel no final do século XIX. A noção de arranjo geométrico, por outro lado, agrupa toda a porção da ciência geográfica praticada pela cartografia, a análise espacial e o sistema de informação geográfica, cujo elemento comum de interface é o mapa.

A organização espacial dos dados geográficos em um plano cartográfico — cujo modelo geométrico mais fiel é o mapa — está nas bases do pensamento espacial. Tal modelo prescinde a noção da análise espacial, uma vez que a análise se dá no espacial, e o dado espacial está organizado no modelo geométrico. Este modelo geométrico é em suma o sistema de referência locacional dos dados, dado tanto pelo modelo matemático das coordenadas esféricas (latitudes e longitudes) como pelo modelo das coordenadas planas (projeção cartográfica).

Em síntese, distinguem-se estas escolas fundamentalmente pelo fato de a corológica apresentar conotações ideográficas, e a espacial, um apelo claramente nomotético — e cartográfico. Neste estágio da contextualização metodológica podemos em um primeiro instante supor que o SIG descende da escola espacial.

O pensamento corológico se baseia no conhecimento da Terra por meio do método geográfico de diferenciação e integração areal, cujas bases e conceitos foram primeiramente formulados por Hartshorne (1939). Nasceram neste contexto as concepções de *região específica, área e lugar*, justificadas pela desigualdade na distribuição dos objetos pela superfície terrestre.

O ponto de vista da corologia, à luz de Hartshorne, sugere “descrições das características de uma região específica (...) sintetizadas a partir de seus componentes e suas relações (...) por meio da combinação entre fenômenos inter-relacionados” (Sack, 1974b, p. 441). Frutos desta escola são as pesquisas geográficas balizadas pelos *estudos de caso*, realizadas com muita frequência na geografia brasileira até os dias atuais.

A escola espacial, cujos prenúncios já estavam na obra de Schaefer (1953), se contrapõe à escola corológica quanto ao método de abordagem do espaço geográfico. O pensamento espacial estabelece que “o geógrafo deve prestar atenção destacada ao arranjo espacial do fenômeno geográfico e não ao fenômeno em si” (Sack, 1974b, p. 447), revelando que o estudo do onde — a distribuição espacial dos fenômenos — é o objetivo central da escola espacial. Tal asserção destaca a importância do geométrico na geografia e, por conseguinte, do mapa, cuja estrutura é igualmente geométrica.

Para Coffey (1981) a essência do paradigma geométrico da escola espacial reside no fato de que:

“O espaço, no seu significado métrico e euclidiano, parece influenciar a distribuição dos fenômenos e das propriedades não espaciais (...). As propriedades espaciais, como a localização de qualquer fenômeno, podem existir independentemente das propriedades não espaciais, mas são certamente influenciadas por elas. (...) A natureza ou a intensidade das propriedades não espaciais são, por sua vez, influenciadas pela localização absoluta ou pela localização relativa” (p. 37).

“As propriedades não espaciais incluem as características locais ou variáveis geográficas, tais como o clima, a demografia, o relevo, a economia, entre outras. Estas propriedades foram posteriormente concebidas na terminologia usada em SIG, como *layers* ou “planos de informação”. Já as propriedades espaciais são essencialmente geométricas, tais como a distância e a posição, por exemplo. A estas propriedades associam-se noções atuais de vizinhança, *buffers*, anisotropia, difusão e impedância espacial, entre outras muito conhecidas e aplicadas em SIG.

Ao propor a expressão *separatismo espacial* para designar uma das visões de destaque na escola espacial, Sack (1974b) argumentou que, segundo esta corrente do pensamento geométrico da geografia, é possível identificar, separar e avaliar os efeitos das propriedades espaciais como fenômenos independentes e examiná-los à luz da análise espacial.

Sack (1974a) destaca que no escopo da escola espacial a *posição* é argumento empírico para a formulação de perguntas de natureza espacial, cuja sintaxe está estruturada na noção de *variáveis espaciais*. Nesta linha de raciocínio é pertinente a argumentação de Olsson (1969) ao mencionar que o espacial está articulado muito mais em concepções probabilísticas que determinísticas.

A abordagem geométrica estabelece também que o espaço não pode ser considerado apenas *per se*, mas segundo a distribuição relativa de objetos de acordo com padrões e arranjos espaciais. Igualmente destacável dentre os paradigmas desta escola é a constatação de que a semelhança entre as substâncias diminui com o aumento da distância. A visão espacial da geografia, empiricamente geométrica, deixa explícita a importância de propriedades como distância e localização relativa no estudo de eventos e objetos físicos ou sociais (Coffey, 1981). Neste contexto, nasceram as técnicas de interpolação de dados, superfície de tendência e também os modelos geoestatísticos disponíveis em SIG.

Quando Sack (1974a, p. 449) argumentava que “a estrutura de um discurso geográfico empírico não faz parte da escola espacial”, justificava sua asserção confirmando que a conexão geométrica dos fatos parece ser a “condição *sine qua non* do discurso geográfico”.

A noção de interdependência espacial concentra em si a essência de escola espacial da geografia, como enfaticamente já afirmava Hepple (1973):

“Se as variáveis geográficas forem independentes no espaço, de tal forma que o valor para uma área não esteja relacionado a outros situados em sua vizinhança (...) não existe ordem espacial ou organização para ser explicada. Neste caso a diferenciação areal e as regiões homogêneas seriam conceitos mais adequados para explicar o fenômeno (...). A interdependência espacial está ligada ao coração da Geografia (...). O dogma central na Geografia assegura que o que acontece em um lugar não é independente do que acontece em outro” (p. 96-97).

As teorias sobre a interdependência espacial entre fenômenos agrupam uma série de métodos de análise de superfícies, citando-se por exemplo a autocorrelação espacial, a análise de superfícies de tendência, os variogramas, além dos inúmeros métodos de interpolação para mapas isopléticos.

Tais paradigmas da escola espacial são fundamentais para a inserção da cartografia temática, do sensoriamento remoto e do sistema de informação geográfica na geografia contemporânea. O incremento deste conjunto de métodos, técnicas e instrumentos de análise geográfica e geotecnológica não teria razão e nem condições de florescer apenas no contexto do paradigma corológico.

Esta dicotomia entre o espacial e o corológico, destacada pelas obras de Sack nos anos 70, já havia sido sistematizada na década anterior por Berry (1964) mais pelo seu lado pragmático do que conceitual, quando apresentou os conceitos duais de *sítio* e de *situação*. Tais conceitos são importantes para a análise espacial realizada em SIG, já que trazem em seus conteúdos as bases para a definição do campo de ação das operações de análise e modelagem de mapas.

O conceito de sítio é vertical e se refere às características locais descritas por atributos corológicos. Ele tem significado semelhante ao termo substância, proposto posteriormente por Sack (1974) e coerente à noção de área geográfica, primeiramente estabelecida por Hartshorne (1939). A idéia de sítio tem importância menor na análise espacial devido à forte conotação corológica e prospectiva de lugar. Embora possa um sítio ser analisado comparativamente a outros sítios com base na diferenciação

areal, em tese a abordagem corológica não se atém a arranjos de objetos ou a seus padrões geométricos no espaço.

O sítio integra todas as características definidoras de um lugar, isto é, demografia, indústria, saúde, clima, transportes e violência, entre outras. A associação entre todas as características de um sítio fornece-lhe unicidade que o diferencia dos outros sítios. Trata-se então o sítio de um todo indivisível que se aproxima do holístico. Em síntese, é a essência da escola corológica.

A situação, em oposição à noção de sítio, é horizontal e está associada a propriedades de “interdependência regional, conexões entre lugares e interação espacial” (Berry, 1964). Situação é um conceito espacial pleno, geométrico, uma vez que permite conhecer um sítio a partir da horizontalidade em relação à sua vizinhança, tendo como base propriedades como distância e contigüidade em relação a outros sítios. A situação nos parece, portanto, ser o conceito principal da análise espacial e razão primordial para que um dia alguém tenha pensado na concepção de um SIG.

Se sítio é a substância de um lugar, então a situação é a sua *instância*, (Sack, 1973). A instância não evidencia apenas a essência geométrica dada pela posição absoluta de um ponto, esclarece também a essência geométrica da posição relativa entre todos os lugares, materializada no plano cartográfico. O plano cartográfico aglutina a totalidade dos pontos espacialmente dispostos, caracterizando-se como a estrutura que permite a aplicação das funções de análise espacial existentes em SIG.

O conceito de *matriz geográfica* proposto por Berry (1964) excedeu em parte o significado matemático do termo *matriz*, pois se tratava de um modelo analítico concebido para o entendimento e a leitura de um espaço geográfico *multivariado* e *multitemático*. Neste modelo o fato geográfico é identificado na interseção entre uma linha e uma coluna da matriz geográfica, ou seja, a interseção entre a série das características de um mesmo lugar (linhas) e uma característica de uma série de lugares (colunas).

Entende-se por característica o atributo locacional ou tema, tal como a população, o número de casos de uma doença contagiosa, por exemplo. São estes também exemplos de substâncias espaciais. O sítio é o lugar ou unidade observacional da característica, como, por exemplo, o município,

o distrito de saúde, o hospital ou a residência onde foram confirmados casos de dengue. A dualidade entre *múltiplas características e múltiplos lugares* é o ponto central da matriz geográfica de Berry, integrando o sítio à sua situação.

O fato geográfico, ao ser analisado como uma série de características de um mesmo lugar, contempla o estudo do sítio ou, como assinala Berry (1964, p. 5), “uma série de características de um mesmo lugar se constitui no inventário locacional ou na geografia dos lugares específicos”. Esta categoria de análise do fato geográfico exemplifica, em parte, uma abordagem corológica. Por exemplo, o levantamento demográfico e de saúde de um município, segundo características como população residente, taxa de mortalidade ou o número de domicílios coletivos, configura-se no inventário por sítio, ou seja, várias características em um mesmo lugar.

Em contrapartida, uma abordagem apoiada em observações de uma só característica em uma série de lugares revela não o inventário do sítio, mas os arranjos e padrões espaciais da situação geográfica na *vizinhança dos sítios*. Neste caso uma característica é estudada para vários lugares e sua variação espacial é mapeada e organizada em distribuições de arranjos espaciais, semelhante às distribuições de frequências (Berry, 1964, p. 5). A imagem gráfica deste arranjo é o próprio mapa temático.

A grande contribuição teórica de Berry, indiretamente dada ao sistema de informação geográfica, ocorreu quando sugeriu que a complexidade do espaço geográfico se daria a partir da ampliação das dimensões das séries de características e das séries de lugares da matriz geográfica:

“(…) assumindo que exista uma série de todas as características, registradas para uma série de todos os lugares, talvez estejamos imaginando que possa existir um arquivo de dados geográficos total e completo — se isto é um sonho ou pesadelo, é uma outra questão” (Berry, op. cit., p. 6).

Este sonho ou pesadelo a que se referia o autor se tratava, pelo menos em tese, de uma superposição de mapas temáticos em formato de camadas ou *layers*. Uma coluna seria um mapa temático, e todas as colunas, a totalidade de camadas de mapas. A série de todas as características correspon-

deria à noção de planos de informação sobrepostos, e a série de todos os lugares se associaria aos mapas codificados em grades raster, onde cada célula ou pixel representaria um sítio. Analogamente nos modelos de objetos, cada sítio seria representado por um polígono delimitador de fronteiras municipais, por exemplo.

Tomando-se como referência a distribuição das células em uma linha, isto é, lendo-se o arranjo espacial de uma característica (uma coluna) em todos os lugares (todas as linhas), está-se diante de uma abordagem de distribuição espacial de uma característica. Se a característica for o número de casos de dengue em 10 mil habitantes, teremos em linguagem de comunicação gráfica o mapa da incidência de casos de dengue por município (lugares).

Quando se impõe um limite espacial à análise definindo-se apenas um lugar (linha) e variando-se as características presentes neste lugar, está-se diante de uma abordagem de inventário locacional baseada na associação entre variáveis espaciais de um mesmo lugar. De cunho evidentemente descritivo e prospectivo, esta abordagem é base para funções de consulta espacial por lugar, utilizadas para a busca de informações em bancos de dados geográficos. Originam-se aqui as operações de *query* baseadas em lógica booleana.

A espacialidade assim manifestada emergiu com maior força dentro da geografia quantitativa — que para Berry & Marble (1968) era o sinônimo de análise espacial — e cujos pressupostos foram primeiramente delineados na obra de Bunge (1966) e posteriormente formalizados em Hagerstrand (1968):

“(…) a análise quantitativa recentemente incorporada à Geografia representa o estudo aprofundado dos padrões de pontos, linhas, áreas e superfícies, dispostos em mapas, definidos por coordenadas espaciais em duas ou três dimensões” (p. 69).

Hagerstrand deixa explícito o papel da cartografia na análise espacial não apenas como meio de comunicação da informação geográfica, mas, sobretudo, como estrutura geométrica — idéia atualmente reduzida ao termo *georreferenciamento*.

Este novo paradigma, o espacial, surgia como evolução de metodologias historicamente precedentes vividas pela geografia. Coffey (1981) identifica, além da abordagem espacial, a abordagem clássica, preconizada pelas obras de Humboldt e Ritter, cujas convicções filosóficas apoiavam-se na idéia da não-existência de diferenças metodológicas entre as ciências físicas e as sociais. Para Coffey (1981), o declínio da visão clássica se deu como consequência do determinismo geográfico, um dos pilares daquela abordagem.

Se a visão clássica unificou o físico e o social em um contexto de efeito causal do ambiente sobre o homem (Coffey, op. cit., p. 14), a visão regional posterior argumentava que os objetos físicos e humanos e os eventos estão intimamente relacionados em uma inseparabilidade fenomenológica. A escola regional formou, entre outros conceitos, os de unidade homogênea e de região específica, exemplificados nas obras fundamentais de Vidal de La Blache (1903) e Hartshorne (1939).

As idéias mais importantes da escola espacial geográfica, da qual descendem os SIG, foram construídas em um momento em que os computadores eram conhecidos como “cérebros eletrônicos” e não raras vezes associados à “ficção científica” regida pelos paradigmas da ciência espacial praticada nos Estados Unidos, principalmente na NASA. Berry estabeleceu, em 1964, as bases da escola espacial, contribuindo involuntariamente para o desenvolvimento das funções de análise espacial para SIG.

Não hesitamos, pois, em afirmar com clareza que o sistema de informação geográfica é filho da tradição geométrica ou espacial da geografia.

2.2. OS MODELOS E OS PARADIGMAS DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA UTILIZADOS EM SIG

Quando se inicia qualquer atividade de pesquisa onde o ambiente da análise espacial é o sistema de informação geográfica, não se pode ignorar que dentro de um SIG ocorre a transformação da paisagem real em paisagem digital. Esta reconstrução do espaço geográfico na forma de arquivos de informações geográficas digitais se dá por meio de fases sequenciais estruturadas em paradigmas segundo os quais são modelados dados geo-

gráficos em formato cartográfico digital. Antes de qualquer discussão sobre modelos de dados ou representações digitais da paisagem em SIG, destacamos primeiramente aquelas concepções de espaço geográfico envolvidas na transformação da paisagem real em paisagem digital.

A capacidade de um SIG para responder a questões de análise espacial depende da implementação eficiente de códigos. Tais códigos baseiam-se em alguns paradigmas, entre os quais citamos a codificação vetor-raster, a representação orientada a objetos, a estrutura em *layers* e a modelagem em campos contínuos.

Todos os elementos geográficos contidos na superfície terrestre, sejam naturais — como rios, florestas ou montanhas — ou produzidos pela sociedade — cidades, estradas, áreas agrícolas e hospitais, entre outros —, podem ser organizados em um SIG por meio de dois modelos sequenciais: o gráfico e o digital.

As informações geográficas provenientes destes elementos são codificadas em um modelo visual gráfico, inicialmente com base em uma escala, quando são reduzidas de seu tamanho original para dimensões compatíveis com uma folha de papel e ajustadas a uma projeção cartográfica da informação. Posteriormente, é realizada a representação cartográfica da informação por meio de símbolos gráficos.

Se as linhas delimitadoras da representação cartográfica forem definidas por fronteiras territoriais ou políticas — os limites entre municípios, bairros, estados ou entre nações — ou por fronteiras naturais — os limites entre bacias hidrográficas, limites de parques nacionais ou reservas biológicas —, a este modelo gráfico se atribui o significado de *mapa*. Se, por outro lado, o limiar da dimensão espacial da representação é matemático e abstrato, recortando a paisagem em janelas com base em coordenadas geográficas com subdivisão geométrica e hierarquizada, atribui-se ao modelo gráfico o significado de *carta*.

O primeiro nível de transformação da paisagem real — a construção do mapa — segue modelos algébricos e geométricos que possibilitam a representação do espaço geográfico com seus objetos, atributos e ações em um plano cartográfico impresso em folha de papel. Estes modelos estão estruturados segundo escalas de redução, ajustes matemáticos de curvatu-

ra terrestre por meio de projeções e princípios da comunicação da informação segundo os preceitos da semiologia gráfica.

A segunda instância de modelagem da realidade geográfica é dada pela transformação do modelo gráfico para o modelo compatível com sistemas de informação geográfica. Neste contexto de abstrações e modelagem alguns paradigmas são adotados para a construção da paisagem digital no computador.

Haining (1993) adotou a expressão *evento geográfico* para designar o conjunto de objetos localizados no espaço geográfico e seus respectivos valores de atributos. Para que um evento geográfico seja armazenado em um banco de dados digitais compatível com um SIG, deve o evento ser abstraído, transformado e discretizado em um número finito e suficientemente pequeno de unidades lógicas. Este processo de transformação é conhecido como modelagem de dados geográficos.

A modelagem de dados geográficos provenientes de mapas temáticos se apóia em dois paradigmas de representação digital do espaço geográfico (Goodchild, 1992):

- I. O espaço geográfico é concebido pela superposição de planos de informação representando distribuições espaciais contínuas de uma mesma variável.
- II. O espaço geográfico é concebido como um espaço povoado de objetos geométricos.

No primeiro caso (I), os limites espaciais entre os atributos são gradacionais em forma de superfícies, coincidindo com as mudanças reais das variáveis na realidade terrestre, sejam elas referentes à topografia ou aos elementos do clima, como temperatura ou precipitação pluvial. No segundo caso (II), as fronteiras entre os atributos são artificiais ou abstratas, concebidas dentro do modelo geométrico euclidiano. É o caso, por exemplo, dos limites entre unidades administrativas, estados, bairros ou áreas de abrangência de equipamentos de saúde, entre outros.

A transposição da paisagem real para o SIG se trata em princípio de um problema de reconstrução do mundo percebido pelo homem em

modelos espaciais abstratos. Dentro da ciência da informação geográfica, Burrough & Frank (1995) concordam que em SIG a paisagem pode ser estruturada segundo dois princípios muito similares aos apresentados por Goodchild (1992):

- A paisagem é uma associação entre objetos ou entidades geométricas interconectadas.
- A paisagem é uma superfície contínua e complexa, transformada por padrões e processos naturais.

O primeiro princípio é conhecido como princípio dos objetos exatos, e o segundo, como princípio dos campos contínuos. Os objetos exatos são modelos de elementos da paisagem delimitados por fronteiras e atributos individuais que ocupam espaços fixos e contêm propriedades previsíveis e exatas. Por estas razões podem ser organizados em dimensões euclidianas simples, tais como pontos, linhas ou polígonos. Por trabalhar com unidades discretas, lógicas e exatas, a abordagem baseada em objetos torna muitas vezes irrelevante o papel da incerteza, uma vez que tendem a adotar uma visão mais determinista e menos estocástica da realidade geográfica (Burrough & Frank, 1995).

Já as pesquisas que adotam como princípio os campos contínuos reúnem condições para o sucesso de questões mais complexas e inexatas da análise espacial. Aceitam a existência de erros e resíduos que, embora inevitáveis, podem ser estimados e reduzidos. Por não adotar claramente uma visão determinista do espaço, a abordagem baseada em campos utiliza conceitos de probabilidade e possibilidade. Os mapas gerados sob a ótica destes princípios têm também limitações que podem ser responsáveis por erros e certamente incorporados às operações de análise espacial realizadas em SIG.

Os objetos gerados por discretização de superfícies apresentam também perdas de informação, já que alguns elementos da paisagem não são compatíveis com a representação de objetos (Haining, 1993). Outro questionamento frequentemente associado ao princípio dos objetos exatos diz respeito ao fato de estes consistirem de abstrações espaciais que contêm

incertezas mascaradas, principalmente nas bordas dos polígonos ou na espessura das linhas.

Os modelos construídos segundo o princípio dos campos contínuos estão associados a superfícies probabilísticas representadas por isolinhas, funções matemáticas e redes triangulares produzidas ou simuladas por meio de interpolações numéricas. Neste tipo de modelo qualquer ponto do espaço geográfico pode ser caracterizado por atributos que variam de acordo com sua posição em um sistema de coordenadas.

Exemplos de produtos cartográficos que seguem tal princípio são os mapas de temperatura do ar (isotermas), mapas de precipitação pluvial (isoietas), mapas altimétricos (isoípsas) ou mapas de concentração de poluentes no ar, entre outros. Em epidemiologia, a depender da escala de análise e da distribuição espacial da doença estudada, podem ser elaborados mapas baseados em campos contínuos, principalmente para se modelar a dispersão espacial de casos em diferentes intervalos.

Os mapas modelados em superfícies têm vantagem sobre os mapas modelados em objetos quando a espacialização se refere, por exemplo, a epidemias de alta taxa de contágio vinculadas ao meio aéreo, como as provocadas por doenças respiratórias. Neste caso, por se tratar o ar do meio pelo qual se expande espacialmente o contágio e dadas a fluidez e a inexistência de suas formas, é conveniente representar os dados da epidemia por meio de superfícies.

Os modelos epidemiológicos baseados no paradigma dos campos contínuos seguem principalmente os preceitos de técnicas espaciais de generalização de mapas, tais como determinação de superfícies de tendência, autocorrelação espacial e interpolação de superfícies. Obviamente que para a adoção destas abordagens deve o pesquisador anteriormente efetuar testes de interdependência espacial entre pontos e *pixels* contíguos, aos quais estão associados os dados epidemiológicos. Se for detectada independência espacial entre os dados, tais técnicas de análise devem ser descartadas.

Se, por um lado, o modelo de objetos exatos concebe um banco de dados composto de entidades atômicas e seus atributos, por outro lado o modelo de campos reconhece que um banco de dados é representado por superfícies, funções matemáticas contínuas, fractais e variáveis regionaliza-

das. Já as estruturas orientadas a objetos permitem construir todos os tipos de relações entre as informações dos elementos geográficos, tanto no nível parcial como na sua totalidade. No entanto, são incapazes de executar modelagem de processos em escalas globais, pois nestas dimensões é praticamente impossível descrever com exatidão um objeto e suas relações espaciais (Burrough, 1992).

2.3. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: A INSTÂNCIA DE EXPERIMENTAÇÃO DA ANÁLISE ESPACIAL

2.3.1. OS PRECEDENTES

Historicamente, a concepção de um SIG precedeu o desenvolvimento dos microcomputadores, dos microships e de toda a tecnologia digital contemporânea e posterior à era do silício. O SIG não é um paradigma da informática, mas uma consequência natural da evolução das teorias da análise espacial. Alguns geógrafos americanos do final dos anos 60 do século XX já vislumbravam o SIG muito antes do aparecimento dos microcomputadores Apple TK-2000 com 8k de memória RAM ou até das calculadoras portáteis.

Em junho de 1970, o número 2 do volume 60 do periódico *Annals of the Association of American Geographers* trazia o artigo intitulado "The 1960's: a decade of progress in geographical research and instruction", escrito por Kohn (1970). Neste trabalho, destacamos o item "Progress in the Observation and Handling of Data" (p. 214), onde são relatados os últimos avanços da tecnologia de então e sua aplicabilidade na geografia.

Inicia o ensaísta mencionando o aparecimento do sensoriamento remoto, destacando que, se comparado ao de outras ciências, seu uso ainda era limitado na pesquisa geográfica de então:

"(...) Durante os anos 60, a aquisição e o processamento de dados por sensoriamento remoto têm recebido a atenção de um grupo cada vez maior de pesquisadores, o que pode ser evidenciado por numerosos simpósios (...). A despeito destes eventos, relativamente poucos arti-

gos direcionados ao uso de sensoriamento remoto na pesquisa geográfica têm aparecido em revistas especializadas. Não há dúvida quanto à utilidade desta informação espacialmente precisa. O desenvolvimento de métodos de imageamento e particularmente de métodos interpretativos para sensores não-fotográficos sensíveis às regiões do infravermelho e de microondas do espectro eletromagnético programados para um futuro próximo possibilitará novas aplicações geográficas do sensoriamento remoto” (p. 214).

O final dos anos 60 já estava adotando a imagem orbital como um novo paradigma da análise espacial, fosse pela visão sintética dela resultante como pela capacidade de geração de grandes quantidades de dados terrestres obtidos por sensores programados para diferentes faixas do espectro eletromagnético. Para que pudesse ser utilizada na análise espacial, esta nova dimensão quantitativa de dados dependia de novos computadores capazes de armazená-los e processá-los. Esta preocupação já era externada por Kohn na época:

“(…) O manuseio de grandes quantidades de dados disponíveis por meio do sensoriamento remoto e de outras fontes não seria possível, entretanto, sem a ajuda de um ‘maquinário complexo’. Felizmente os anos 60 têm assistido à evolução dos computadores digitais eletrônicos que preenchem tais exigências” (p. 215).

O discurso de Kohn, escrito no momento em que o computador era um “maquinário complexo”, gigantesco e com poucos atrativos comerciais, exigia inclusive a transcendência do papel dos computadores para além do processamento de dados orbitais. Apontava o autor como papel fundamental do hardware a residência dos softwares para dados geográficos que atuassem em forma de sistemas de informação. O objetivo era deixar explícita a necessidade de sistemas cuja estrutura e organização fossem voltadas para a informação geográfica:

“(…) Com a evolução dos computadores, os sistemas de armazenamento e manipulação de dados — normalmente citados como ‘siste-

mas de informação’ — também estão sendo investigados pela ciência. Para que possam ser úteis ao pesquisador em geografia, estes sistemas devem satisfazer quatro critérios básicos:

1. Devem ser capazes de localizar pontos específicos e dados no formato de área.
2. Devem estar aptos à agregação variável de dados. Os sistemas que preenchem tais requisitos são normalmente referidos como sistemas de geocodificação e são de grande valor para as pesquisas geográficas.
3. Um sistema de informação geográfica deve disponibilizar um método para reprodução dos arranjos espaciais (...), contendo operações específicas entre dados e permitindo uma apresentação visual dos resultados.
4. Um sistema de informação geográfica deve conter um pacote de programas matemáticos e estatísticos que possa ser acessado, se necessário, para auxiliar a análise de dados espacialmente orientados (...)” (p. 215).

Os critérios 1 e 2 postulados por Kohn podem ser entendidos como objetivos de uma cartografia digital embrionária. O critério 1 diz respeito à capacidade de posicionamento de objetos em sistema de coordenadas tanto em ponto como em polígonos. Quanto ao critério 2, entende-se como “agregação variável de dados” a capacidade de manipulação dos dados em diferentes escalas pela ampliação ou redução da área de trabalho. Além disto, este critério indicava também a vocação do SIG para georreferenciamento dos dados provenientes de diferentes sistemas de referência locacional.

Destacam-se os critérios 3 e 4, que dizem respeito exatamente ao papel do SIG: solucionar problemas e questões formuladas pela análise espacial. Isto pode ser confirmado quando Kohn enfatiza que estes “conjuntos de programas desenhados para aceitar dados descritos espacialmente podem ajudar a análise de dados espacialmente orientados(...)”. Em suma: à época dos anos 60, no auge do avanço metodológico da análise espacial, o que se queria era apenas que a computação produzisse sistemas

para agilizar a análise de grandes quantidades de dados espaciais de acordo com modelos já estruturados teoricamente.

2.3.2. O SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Os computadores trabalham basicamente com seis tipos de informação: números, fotos, textos, tabelas, sons e mapas (Berry, 1993). Para cada tipo de informação existem softwares específicos. Quando se deseja realizar processamento numérico e estatístico, são utilizados softwares baseados em operações aritméticas e cálculos numéricos implementados para este fim. Para tratamento de arquivos em formato texto atuam processadores ou editores de texto, no processamento de fotos e figuras utilizamos softwares com recursos gráficos, e para sons são escolhidos softwares sintetizadores de sons em ambientes multimídia e assim por diante.

E se a finalidade for o processamento de mapas e informações espaciais? Neste caso deve-se utilizar um conjunto de softwares integrados de forma sistêmica denominado sistemas de informação geográfica. Vê-se que a expressão *informação geográfica* é utilizada de forma a realçar o tipo de informação e não as técnicas de análise espacial, como deveria ser, já que em um SIG estão disponíveis diversos tipos de operações de análise de informações espaciais.

Ao contrário do ambiente que envolve o uso dos softwares comuns, onde coexistem a trílogia fabricante-vendedor-usuário, no ambiente de SIG a situação é mais complexa. Além da citada trílogia, existe também uma teia de relações envolvendo hardwares, dados, softwares, pesquisas espaciais e cartográficas e, por que não?, a escolha entre um grande leque de opções metodológicas para análise espacial que podem ser implementadas em SIG.

Buscar uma definição para sistema de informação geográfica não é uma tarefa simples, principalmente quando se direciona a análise para o nível metodológico do uso destes sistemas. Seguindo esta linha de pensamento, destacam-se em primeira instância as abordagens para SIG que têm sido adotadas com maior frequência na atualidade. Goodchild (1992) diferenciou duas categorias de possíveis definições para SIG:

- O SIG é um campo de pesquisa que contém um amplo conjunto de questões de análise espacial — o SIG como ciência da informação geográfica.
- O SIG é uma caixa de ferramentas de múltiplos usos técnicos — o SIG como um conjunto de técnicas auxiliares às ciências em geral.

A primeira abordagem representa um contexto no qual o SIG se apóia nos paradigmas da ciência da informação geográfica. Por esta razão Goodchild (1992) propôs a substituição da expressão *GISystem* por *GIScience*, em que *science* se refere à ciência da informação geográfica. Neste nível, o SIG aparece como um laboratório onde são implementadas e experimentadas funções de análise de mapas cuja base teórico-metodológica já foi estabelecida pela análise espacial. Na segunda abordagem, o SIG é pensado como conjunto de técnicas a serviço de uma ciência e atuando como ferramenta semelhante à calculadora, ao GPS, ao sistema de tratamento de imagens ou ao sistema de acesso a banco de dados.

A complexidade associada à proposição de uma definição clara para SIG se deve principalmente à interdisciplinaridade e à multiplicidade de ciências que dele se utilizam, tais como a geografia, a geologia, a ecologia, a botânica, a computação, a agronomia, o marketing, a engenharia e, mais recentemente, a epidemiologia. Uma questão parece pertinente neste momento da análise: que característica inerente a um SIG faz com que diferentes ciências dele se utilizem? A resposta está no seu potencial para realizar análises espaciais.

Em geral, a literatura tem destinado aos sistemas de informação geográfica o papel de sistema computacional dedicado ao gerenciamento de dados espaciais. O termo *geográfico* traz implícita a idéia de que dados sobre localidades, pontos ou objetos podem ser identificados por meio de coordenadas geográficas. Já a palavra *informação* pressupõe que um SIG esteja organizado de forma a possibilitar o acesso a mapas, imagens, gráficos e tabelas, de acordo com a interação do usuário com a tela. A palavra *sistema* traz implícito um modelo de arquitetura estruturado em vários componentes inter-relacionados e conectados a partir de diferentes funções (Bonham-Carter, 1994).

A rigor, e sob uma ótica taxonômica, um SIG é um tipo de sistema de informação. Maguire (1992) reconhece duas categorias de sistemas de

informação: os sistemas de processamento de consultas simples (SCS) e os sistemas de suporte à decisão (SSD).

Os sistemas SCS têm como principais atribuições o registro e a manipulação de operações de transações e consultas mediante simples acesso ou transferência de dados entre arquivos. Estas operações, típicas de agências bancárias e empresas aéreas, podem ser realizadas por leigos em terminais bancários (*banking*) ou em balcões de uma empresa aérea (*check-in*). Por ser desenhado com base em funções simples, específicas e bem definidas, este tipo de sistema permite facilmente a atualização e o resgate de informações remotas por um usuário cadastrado no sistema de acesso (Maguire, 1992).

Os sistemas SSD, entre os quais está o SIG, são mais flexíveis e aptos à modelagem, análise e manipulação de dados, atendendo às exigências de planejadores, entidades governamentais e não-governamentais, universidades, pesquisadores e planejadores. Esta categoria de sistema envolve uma relativa complexidade no que se refere à sua utilização. Exige manipulação por pessoal com treinamento específico e com conhecimento das funções de análise espacial, da teoria das decisões e da modelagem cartográfica. Esta visão do SIG como SSD é a que melhor responde aos anseios da comunidade geográfica, uma vez que utiliza as diferentes categorias de conhecimento da geografia de forma integrada, buscando reunir informação para a tomada de decisão na área de planejamento.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora atualmente o sistema de informação esteja disseminado em diversas ciências, que dele fazem uso prioritário para consulta a banco de dados geográficos, encontramos na escola espacial da geografia suas bases teórico-metodológicas. O que faz do SIG um sistema atrativo a tantas categorias de conhecimento científico é a sua "alma" ou o conjunto de operações de análise espacial nele transformados em comandos e módulos de análise geográfica. O pensamento geográfico já havia aberto o caminho para o SIG desde os anos 60 do século XX, quando formalizou os pressupostos da escola espacial de tradição geométrica — a mesma que fixou as bases da cartografia geográfica e da geografia teórica.

Por isto, não é exagero afirmar que o SIG não nasceu no próprio SIG. Trata-se de um estágio evolutivo atual da análise espacial, quando a parceria entre os pressupostos da escola espacial e a evolução técnica da informática atinge seu apogeu.

Nos últimos vinte anos o SIG passou a ocupar lugar de destaque nas ciências espaciais em geral, fruto principalmente dos avanços percebidos na tecnologia de construção de microcomputadores e nas linguagens de programação. Tais conquistas refletiram-se em queda de custos, fazendo com que o SIG pudesse ser utilizado também como sistema pessoal, e não apenas institucional e governamental, como na fase embrionária destes sistemas.

Entretanto, na geografia o SIG tem enfrentado inúmeras barreiras epistemológicas e de método, que dificultaram sua inserção em algumas categorias do conhecimento geográfico. Talvez isto seja fruto de uma visão equivocada que se tem deste tipo de sistema na ciência geográfica, que argumenta ser ele apenas um instrumental de informática útil para simples consultas a banco de dados e não um sistema de suporte à decisão — este o seu principal elo com a geografia contemporânea.

O SIG é um sistema de análise espacial que deve estar vinculado à área de planejamento na geografia. Como se trata de um sistema de apoio à decisão e cujas bases teórico-metodológicas e paradigmas originaram-se da tradição geométrica da geografia — o que contribuiu para que seu desenho fosse apto inclusive à análise de mapas —, o SIG é um instrumento importantíssimo para a decisão geográfica, independentemente do olhar adotado pelo geógrafo em relação ao seu objeto de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTENUCCI, J.C.; BROWN, K. & CROSWELL, P.L. *Geographical information systems: a guide to the technology*. Nova York: Chapman & Hall, 1991, 301p.
- BERRY, B.J. Approaches to regional analysis: a synthesis. *Annals of the Association of American Geographers*, 54:2-11, 1964.

- BERRY, B.J. & MARBLE, D.F. *Spatial analysis: a reader in statistical geography*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1968, 290p.
- BERRY, J.K. The unique character of spatial analysis. *GIS World*, abril, 1996b, p. 29-30.
- _____. *Beyond mapping: concepts, algorithms and issues in GIS*. Fort Collins: GIS World, 1993, 246p.
- _____. Classifying the analytical capabilities of GIS. Fort Collins: GIS World, março, 1996a, p. 34.
- BONHAM-CARTER, G.F. *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*. Ontario: Pergamon, 1994, 398p.
- BUNGE, W. *Theoretical geography*. Lund, 1ª ed., 1966, 209p.
- BURROUGH, P.A. Are GIS data structures too simple minded? *Computers and Geosciences*, 18(4):395-400, 1992.
- BURROUGH, P.A. & FRANK, A.U. Concepts and paradigms in spatial information: are current geographical information system truly generic? *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(2):101-116, 1995.
- COFFEY, W. J. *Geography: towards a general spatial systems approach*. Londres: Methuen, 1981, 270p.
- DE LA BLACHE, P.V. *Tableau de la géographie de la France*. Paris: Armand Colin, 1903.
- GOODCHILD, M.F. Geographical data modeling. *Computers and Geosciences*, 18(4):401-408, 1992.
- HAGERSTRAND, T. Aspects of the spatial structure of social communication and the diffusion of information. *Papers of the Regional Science Association*, 16:27-42, 1966.
- HAINING, R. Designing spatial data analysis modules for geographical information systems. In: FOTHERINGHAM S. & ROGERSON P. (eds.) *Spatial Analysis and GIS*. Londres: Taylor & Francis, 1995, p. 45-63.
- HARTSHORNE, R. *The nature of geography*. Lancaster, 1939.
- HEPPLE, L.W. The impact of stochastic process theory upon spatial analysis in human geography. In: BOARD, C. (ed.) *Progress in Geography: international reviews of current research*. Londres: Edward Arnold, 1973, p. 91-142.
- KOHN, J. The 1960's: a decade of progress in geographical research and instruction. *Annals of the Association of American Geographers*, 2(60):212-227, 1970.

- MAGUIRE, D.J. An overview and definitions of GIS. In: MAGUIRE, D.J., GOODCHILD, M.F. & RHIND, D.W. *Geographical Information Systems: principles and applications*. Londres, Longman, vol. 1, 1991, p. 319-335.
- SACK, R.D. A concept of physical space in Geography. *Geographical Analysis*, 5(1):16-34, 1973.
- _____. Chorology and spatial analysis. *Annals of American Association of Geographers*, 64(3):439-452, 1974a.
- _____. The spatial separatism theme in geography. *Economic Geography*, 50(1):1-19, 1974b.
- SCHAEFER, F.K. Exceptionalism in geography: a methodological examination. *Annals of American Association of Geographers*, 43(3):226-249, 1953.