CAPÍTULO 3

EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DE GEOPROCESSAMENTO

"Se você conhece o inimigo e conhece a si mesmo, não precisa temer o resultado de cem batalhas. Se você se conhece mas não conhece o inimigo, para cada vitória sofrerá também uma derrota. Se você não conhece o inimigo nem a si mesmo, perderá todas as batalhas".

Sun Tzu
(A Arte da Guerra, sec. V a.C.).

3.1 APRESENTAÇÃO

Este capítulo traça uma visão retrospectiva e prospectiva sobre a tecnologia de Geoprocessamento, necessária para situar o tema desta tese, onde consideramos a existência de três gerações de sistemas de informação geográfica.

A *primeira geração* ("CAD cartográfico") caracteriza-se por sistemas herdeiros da tradição de Cartografia, com suporte de bancos de dados limitado e cujo paradigma típico de trabalho é o mapa (chamado de "cobertura" ou de "plano de informação"). Desenvolvidos a partir da início da década de 80 para ambientes da classe VAX e - a partir de 1985 - para sistemas PC/DOS, esta classe de sistemas é utilizada principalmente em projetos isolados, sem a preocupação de gerar arquivos digitais de dados. Esta geração também pode ser caracterizada como sistemas orientados a projeto ("project-oriented GIS").

A *segunda geração* de SIGs ("banco de dados geográfico") chegou ao mercado no início da década de 90 e caracteriza-se por ser concebida para uso em ambientes cliente-servidor, acoplado a gerenciadores de bancos de dados relacionais e com pacotes adicionais para processamento de imagens. Desenvolvida em ambientes

multiplataforma (UNIX, OS/2, Windows) com interfaces baseadas em janelas, esta geração também pode ser vista como sistemas para suporte à instituições ("enterprise-oriented GIS").

Pode-se prever, para o final da década de 90, o aparecimento de uma *terceira geração* de SIGs ("bibliotecas geográficas digitais" ou "centros de dados geográficos"), caracterizada pelo gerenciamento de grandes bases de dados geográficos, com acesso através de redes locais e remotas, com interface via WWW (World Wide Web).

Para esta terceira geração, o crescimento dos bancos de dados espaciais e a necessidade de seu compartilhamento com outras instituições requer o recurso a tecnologias como *bancos de dados distribuídos e federativos*. Estes sistemas deverão seguir os requisitos de *interoperabilidad*e, de maneira a permitir o acesso de informações espaciais por SIGs distintos.

A terceira geração de SIG pode ainda ser vista como o desenvolvimento de sistemas orientados para troca de informações entre uma instituição e os demais componentes da sociedade ("society-oriented GIS").

A figura 3.1 ilustra a evolução da tecnologia de Geoprocessamento.

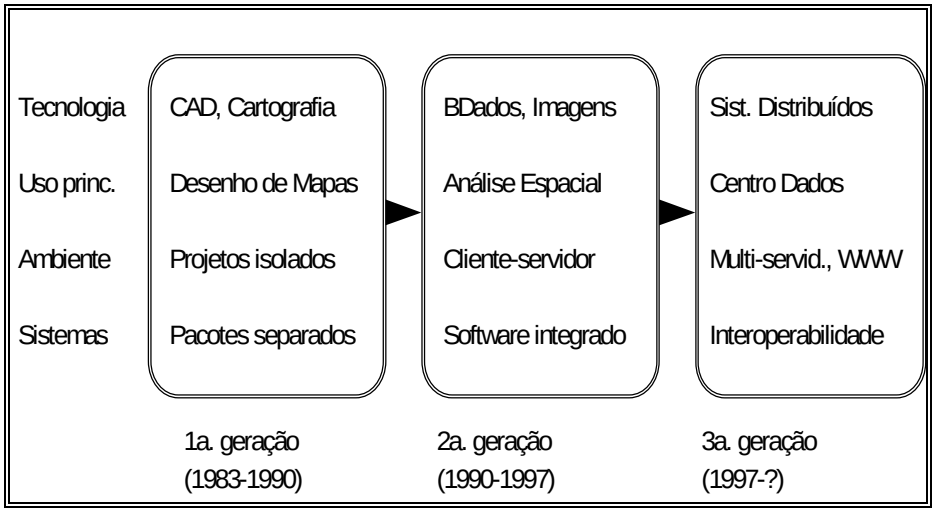


Figura 3.1 - Evolução da tecnologia de SIG.

A evolução da tecnologia e uso de SIG serão detalhadas nas seções seguintes. Na seção 3.2, descrevemos brevemente as características da primeira geração. A seção 3.3 contém uma discussão em maior detalhe sobre as partes constituintes de

um SIG de segunda geração ("banco de dados geográfico"). A seção 3.4 inclui uma apresentação dos principais aspectos de uma biblioteca geográfica digital.

3.2 A PRIMEIRA GERAÇÃO: CAD CARTOGRÁFICO

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO

A primeira geração de SIG caracteriza-se por sistemas com operações gráficas e de análise espacial sobre arquivos ("flat files"). Sua ligação com gerenciadores de bancos de dados é parcial (parte das informações descritivas se encontra no sistema de arquivos) ou inexistente.

Mais adequados à realização de *projetos de análise espacial* sobre regiões de pequeno e médio porte, estes sistemas enfatizam o aspecto de mapeamento. O sistema permite a entrada de dados sem definição prévia do esquema conceitual, assemelhando-se assim a ambientes de CAD que possuem a capacidade de representar projeções cartográficas e de associar atributos a objetos espaciais. Por força de sua concepção, tais ambientes não possuem suporte adequado para construir grandes bases de dados espaciais.

3.2.2 UTILIZAÇÃO

A primeira e natural utilização dos SIGs na maioria das organizações é como ferramentas para produção de mapeamento básico. Dada a carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais no Brasil, esta maneira de utilizar a tecnologia de Geoprocessamento já representa uma valiosa contribuição. Desafortunadamente, muitas instituições tomam pouco cuidado em manter uma base de dados digital de seus resultados. Em conseqüência, muitos trabalhos de grande importância estão inacessíveis.

Para citar apenas um exemplo, o projeto "SOS Mata Atlântica" realizou um dos maiores estudos mundiais com a tecnologia de SIG. Foram produzidas mais de 200 cartas na escala 1:250.000, contendo o levantamento de todos os remanescentes da floresta tropical original, a partir da foto-interpretação de imagens de satélite.

Apesar do excelente resultado obtido, não houve o cuidado de consolidar os resultados num banco de dados geográficos.

3.3 A SEGUNDA GERAÇÃO: BANCOS DE DADOS GEOGRÁFICOS

3.3.1 CARACTERIZAÇÃO

A segunda geração de sistemas se caracteriza por sistemas concebidos para operar como um *banco de dados geográfico,* entendido como um banco de dados não-convencional aonde os dados tratados possuem, além de atributos descritivos, um representação geométrica no espaço geográfico.

A segunda geração de sistemas ainda está em desenvolvimento, com novos produtos sendo projetados e lançados. Nenhum produto disponível no mercado hoje atende plenamente aos requisitos aqui discutidos, embora os principais fabricantes de sistemas tenham indicado planos em direções compatíveis com as discutidas a seguir.

3.3.2 REQUISITOS

A extensão da tecnologia de bancos de dados para tratar dados geográficos requer avanços em vários pontos, inclusive:

- *Modelagem conceitual*

  Avanços na modelagem conceitual em Geoprocessamento são necessários para quebrar a dicotomia matricial-vetorial (NCGIA, 1989) e para gerar interfaces com maior conteúdo semântico (Egenhofer, 1989).

- *Integração Sensoriamento Remoto - Geoprocessamento*

  Para aplicações ambientais, um dos requisitos mais importantes para a análise espacial é a integração entre mapas temáticos, modelos de terreno e imagens de satélites (Ehlers et al., 1989).

  Motivação adicional advém do grande progresso recente na área de Processamento de Imagens de Satélite, com a disponibilidade de novos sensores (como os radares de abertura sintética) e de técnicas de interpretação automática (como a segmentação e redes neurais).

- *Representações Topológicas em Múltiplas Escalas e Projeções*

O gerenciamento de um banco de dados geográfico de grandes dimensões requer que se mantenham múltiplas representações geométricas associadas ao mesmo dado geográfico. Que se pense, por exemplo, nas diferentes representações associadas ao rio Amazonas num banco de dados que cubra toda a região e que esteja particionado geograficamente de acordo com os fusos UTM. Em casos como este, o sistema deve separar o dado de sua representação e garantir a unicidade de descrição.

- *Linguagens de Consulta, Manipulação e Apresentação*

  A segunda geração de SIG requer linguagens de consulta, manipulação e representação de objetos espaciais de grande poder expressivo. As linguagens de consulta podem ser baseadas em SQL (como a apresentada em Egenhofer, 1994) e a manipulação de dados geográficos segue a linha da álgebra de mapas (Tomlin, 1990; Câmara, Freitas e Cordeiro, 1994).

- *Novas Técnicas de Análise Geográfica*

  A incorporação de novas técnicas de análise geográfica como classificação contínua (Druck e Braga, 1995) e modelagem ambiental (Kemp, 1993) é necessária para que os SIG sejam capazes de satisfazer de forma plena aos requisitos de análise e modelagem de grandes bases de dados espaciais.

- *Arquiteturas para Bancos de Dados de Grande Porte*

  A complexidade e o tamanho dos dados geográficos impõem mudanças nos esquemas tradicionais de arquiteturas de sistemas de gerência de banco de dados. Além de avanços em arquiteturas (com o uso de tecnologias como sistemas distribuídos) será preciso dispor de novos métodos de indexação espacial, adequados às massas de dados a ser gerenciadas.

Todos estes requisitos serão abordados no contexto desta tese. No capítulo 4 trataremos dos três primeiros pontos (modelagem conceitual, integração SR-SIG e representações múltiplas). No capítulo 5 e 6, abordaremos as duas questões seguintes (linguagens e novas técnicas de análise geográfica). No capítulo 7, trataremos do

problema de propor novas arquiteturas para sistemas de gerência de bancos de dados geográficos.

3.3.3 UTILIZAÇÃO

Apesar dos grandes benefícios dos sistemas de segunda geração para as aplicações de Geoprocessamento, seu uso efetivo ainda é muito restrito no Brasil. As principais razões são de ordem *institucional*.

O uso de ambientes cliente-servidor requer o concurso de competência em administração em Bancos de Dados e em Redes de Computadores, muitas vezes não disponível em instituições usuárias de Geoprocessamento. Também exige um maior investimento para adquirir, instalar e operar sistemas gerenciadores de bancos de dados (SGBD) de mercado. Adicionalmente, o grande potencial integrador de SIG só poderá ser exercido quando o sistema se integra ao processo produtivo. Isto requer que as bases de dados corporativas sejam transformadas para o mesmo ambiente de SGBD utilizado pelo SIG.

Um excelente exemplo do uso de SIG em ambiente cliente-servidor é o sistema SAGRE, desenvolvido pelo CPqD/TELEBRÁS. A partir do suporte oferecido por um SIG (VISION) e por um SGBD com campos longos (ORACLE), foram construídas facilidades para operação e gerenciamento de rede telefônica. Este ambiente está sendo instalado em concessionárias de telefonia em todo o Brasil.

3.4 A TERCEIRA GERAÇÃO: BIBLIOTECAS GEOGRÁFICAS DIGITAIS

3.4.1 CARACTERIZAÇÃO

Uma *biblioteca geográfica digital* (ou um "centro de dados geográfico") é um banco de dados geográfico compartilhado por um conjunto de instituições. Esta biblioteca deve ser acessível remotamente e armazenar, além dos dados geográficos, descrições acerca dos dados ("metadados") e documentos multimídia associados (texto, fotos, áudio e vídeo).

Este novo paradigma é motivado pelo aguçar da nossa percepção dos problemas ecológicos, urbanos e ambientais, pelo interesse em entender, de forma cada vez mais detalhada, processos de mudança local e global e pela necessidade de compartilhar dados entre instituições e com a sociedade.

O núcleo básico de uma biblioteca geográfica digital é um grande banco de dados geográficos. Para ilustrar, imaginemos dois cenários: um grande centro ambiental brasileiro e uma secretaria de planejamento de uma prefeitura de médio porte (cerca de 1.000.000 de habitantes):

- Cenário 1 (*"Banco de Dados da Amazônia"*): Este banco conteria informações detalhadas sobre a ocupação humana na região, incluindo temas como temas básicos (vegetação, pedologia, geomorfologia), ocupação humana (desmatamento, grandes projetos agropecuários, áreas de prospecção mineral), temas derivados (zoneamentos econômicos) e imagens de satélite atualizadas. Este banco de dados poderia ser mantido por uma instituição central (como o IBAMA) e permitir o acesso de forma concorrente por pesquisadores de todo o país.

- Cenário 2 (*"Prefeitura de Curitiba"*): Este banco conteria todas as informações necessárias para planejamento da cidade, incluindo: lotes, quadras, ruas, equipamentos urbanos (hospitais, escolas), redes de água, esgoto e luz. Poderia ser consultado on-line pelas diversas secretarias municipais, por concessionárias de serviço e por cidadãos.

Nos dois cenários, o ambiente deve garantir acesso concorrente a uma comunidade de usuários, com diferentes métodos de seleção, incluindo folheamento ("browsing") e linguagem de consulta.

Um exemplo desta tecnologia é o sistema EOSDIS (EOS Data and Information System), projetado pela NASA para atender ao programa EOS ("Earth Observation System"), que inclui um conjunto de satélites com enorme capacidade de geração de dados (2 Tb/dia).

Tendo em vista o panorama geral, as próximas seções apresentam os principais requisitos da nova geração de SIG, divididos em grandes áreas: *disponibilidade de metadados, acesso via WWW, navegação pictórica ("browsing") e interoperabilidade.*

3.4.2 REQUISITOS: METADADOS

A idéia de metadados (ou "dados sobre os dados") é criar um ambiente que apresente descrições gerais sobre os conjuntos de dados disponíveis localmente ou em centros associados. Exemplo é o "Master File Directory" (MFD) da NASA, que inclui referências para conjuntos de dados em diferentes instituições e agências espaciais em outros países.

Um dos principais desafios com a construção de ambientes de metadados é balancear o esforço requerido para descrever as coleções de dados, pois a informação final deve ser suficiente para guiar a busca (Abel and O'Callaghan, 1992). O MFD da NASA adota a filosofia de prover um conjunto mínimo de descritores obrigatórios, com campos em texto livre para informação adicional; esta estratégia minimiza tanto o esforço requerido para compor o relatório quanto a capacidade de busca disponível.

Outro aspecto desejável em ambientes de metadados é a disponibilidade de dados síntese, na forma de mapas em escala muito reduzida que possam ser utilizados para localizar geograficamente os conjuntos de dados disponíveis.

O ideal é permitir um refinamento do processo de consulta, estabelecendo um caminho contínuo entre o nível mais abstrato de metadados e os dados (Smith and Frank, 1989). Assim, a partir de informação de caráter geral ("Banco de Dados da Amazônia"), passamos a visões de caráter regional ("Estado de Roraima"), específico ("Mapas de Vegetação de Roraima") até chegar no dado propriamente dito ("Mapa de Vegetação da Região do Rio Demene em Roraima na escala 1:100.000").

3.4.3 REQUISITOS: ACESSO VIA WWW

A disponibilidade de interfaces multimídia via Internet, proporcionada pelo ambiente WWW, permite que os dados geográficos sejam apresentados de forma pictórica (através de mapas reduzidos e imagens "quick-look").

No entanto, o ambiente WWW (com o uso de HTML - Hyper Text Mark-up Language) apresenta alguns problemas para uso com bancos de dados geográficos, principalmente porque a linguagem HTML é navegacional e não suporta a noção de transação[1].

Para poder combinar de forma apropriada a tecnologia WWW/HTML com um ambiente de consulta típico de bancos de dados geográficos, é inevitável lançar mão, além dos recursos pictóricos do HTML, de uma linguagem de consulta com restrições espaciais.

---

[1]Esta observação, bem como muitas considerações importantes sobre o problema de bibliotecas geográficas digitais, são devidas a Danton Nunes (gerente do nó GRID-INPE), a quem o autor agradece.

3.4.4 REQUISITOS: NAVEGAÇÃO PICTÓRICA

A navegação pictórica (*browsing*) pode ser visto como uma *seleção baseada em apontamento*: uma interface interativa permite ao usuário percorrer o banco de dados.

Prover mecanismos de navegação é importante, pois não se pode supor que o usuário saiba *a priori* quais os tipos de dados disponíveis e como fazer para ter acesso a estes. As ferramentas de navegação permitem ao usuário ter acesso ao dados com base em sua *localização espacial*. A figura 3.2 mostra um possível particionamento por mapas-índice de um país, que poderia ser utilizado no processo de navegação.

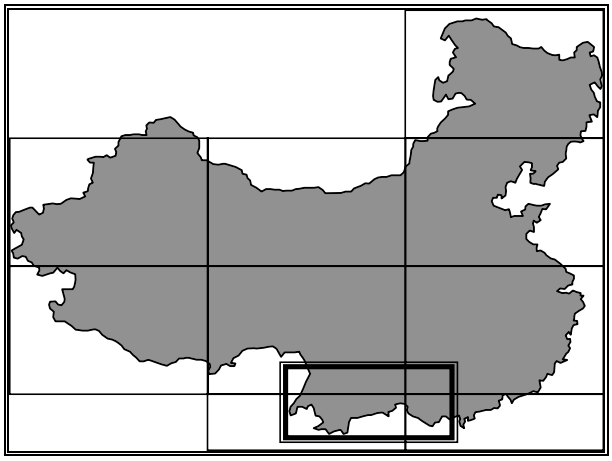


Figura 3.2 - Estrutura de mapas-índice para navegação.

O grande desafio ao montar um ambiente de navegação é garantir rapidez de resposta e interatividade. Para garantir rapidez, é necessário dispor de mecanismos de generalização, que devem ser diferentes conforme os formatos de dados subjacentes. Pode ser necessário, por razões de desempenho, pre-computar os dados necessários ao processo de folheamento.

3.4.5 REQUISITOS: INTEROPERABILIDADE

O compartilhamento de dados e procedimentos entre bancos de dados geográficos baseados em SIGs distintos é um desafio considerável. Como não existe um modelo de dados geográficos universalmente aceito (ao contrário do modelo relacional para aplicações convencionais), os diversos SIG do mercado apresentam diferenças significativas na maneira de operar e nos formatos internos de armazenamento.

Para tentar remediar estes problemas, vários países tem estabelecido padrões cartográficos de transferência de dados, que almejam preservar a riqueza da informação geográfica (topologia e atributos). Estes padrões buscam uma "neutralidade" com relação aos diferentes fabricantes, e incluem o SDTS (Spatial Data Transfer Standard) nos EUA, o SAIF (Spatial Archive and Interchange Format) no Canadá e o OGIS (Open GIS Standard)[2]. Na realidade, estes padrões foram projetados para atuar em níveis distintos, como descrito a seguir.

O SDTS é um padrão de *transferência de dados espaciais*, baseado num modelo de dados que distingue entre *entidades espaciais* (entidades do mundo real), *objetos espaciais* (elementos gráficos simples, com ou sem topologia) e fenômenos espaciais (relacionamentos entre entidades e objetos). A semântica do modelo de dados SDTS inclui ainda informações sobre qualidade de dados. Informações sobre SDTS podem ser obtidas em `ftp://sdts.er.usgs.gov`.

O SAIF é uma linguagem de *especificação e troca de dados*, baseada num modelo de dados orientado-a-objeto que procura modelar os diferentes tipos de dados geográficos, estabelecendo entre eles relações de identidade, generalização e agregação. Informações sobre o SAIF podem ser obtidas no endereço WWW `http://www.wimsey.com/infosafe/saif`.

---

[2]O autor agradece a Andrea Hemerly pelas informações sobre o SAIF, SDTS e OGIS.

O OGIS é um *padrão de interoperabilidade entre SIGs*, baseado em tecnologia de objetos distribuídos (CORBA e OLE), que prescreve um modelo de alto nível de programação de aplicações em SIG (APM - "Applications Programming Model"). O modelo APM foi concebido para facilitar a implementação transportável de aplicações e serviços. O modelo de objetos geográficos do OGIS é baseado no modelo SAIF, o que permitirá estabelecer uma compatibilidade entre estes dois padrões. Informações adicionais sobre o OGIS podem ser obtidas em no endereço WWW `http://www.ogis.org/.`

No entanto, mesmo que se estabeleça uma transferência de dados entre bancos de dados geográficos com diferentes formatos, deve-se lembrar que, em aplicações complexas como Geoprocessamento, parte substancial da informação está contida nos procedimentos de consulta, manipulação e apresentação[3]. Assim, o intercâmbio de dados não garante a interoperabilidade.

No contexto desta tese, não temos condição de explorar em maior detalhe este assunto fascinante, que esperamos poder tratar posteriormente.

[3]Para citar um exemplo nacional, o sistema SAGRE (da TELEBRÁS) consiste em 200.000 linhas de aplicações para redes telefônicas desenvolvidas na linguagem do sistema GEOVision.

3.5 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO NA EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA

Com base no panorama de evolução da tecnologia de Geoprocessamento apresentado neste capítulo, esta tese pretende atuar em duas perspectivas:

- estabelecer sólidas bases conceituais para o desenvolvimento e o aprimoramento de um SIG de segunda geração (SPRING);
- lançar idéias para o projeto e desenvolvimento da tecnologia de centros de dados geográficos, que virá para complementar as capacidades do SPRING.

Nosso objetivo é projetar um SIG que satisfaça a todos às necessidades de um sistema de segunda geração, os requisitos descritos na seção 3.3, "Bancos de Dados Geográficos" serão abordados nos capítulos que seguem em maior detalhe. Acreditamos que a existência de um banco de dados geográfico completo é fundamental para que possamos construir bibliotecas geográficas digitais eficientes.