

Perspectivas em Sistemas de Informação Geográfica¹

GILBERTO CÂMARA

UBIRAJARA MOURA DE FREITAS

Divisão de Processamento de Imagens - DPI

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

P.O.Box 515

12201-010 São José dos Campos, SP, Brasil

{gilberto, bira}@dpi.inpe.br

Resumo. Este trabalho apresenta uma visão sobre a evolução da tecnologia e aplicações de Geoprocessamento. A questão central discutida é o processo de passagem da situação atual, aonde os SIG são utilizados primariamente como ferramentas de *desenho cartográfico*, para o uso de SIG como *bancos de dados espaciais*, a ser compartilhados por uma grande comunidade de usuários.

1 Introdução

Este trabalho discute como deve evoluir a tecnologia de sistemas de informação geográfica (SIG) e sua utilização no Brasil. Nele comparamos as duas principais abordagens para uso destes sistemas: SIG como instrumento de *mapeamento* e SIG como ferramentas para construção de *bancos de dados espaciais*.

A tese aqui defendida é de que a maior parte do uso da tecnologia de SIG no Brasil reside nos aspectos de mapeamento (“*CAD cartográfico*”). À medida em que são realizados projetos de maior porte e que crescem a experiência das equipes e a importância do Geoprocessamento nas organizações, a ênfase passa a ser na construção e manutenção de *grandes bases de dados espaciais*.

O trabalho avalia a evolução recente das soluções disponíveis em SIG e faz uma prospecção tecnológica para delinear a próxima geração de sistemas. De maneira geral, dada a intensa competição na área, os sistemas disponíveis são capazes de atender à demanda presente dos usuários. Há ainda em curso um

grande esforço, por parte dos fabricantes, de prover para os usuários sistemas que se antecipam às futuras necessidades da comunidade de aplicações.

Este trabalho está baseado na experiência do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no desenvolvimento e uso da tecnologia de Geoprocessamento.

O trabalho divide-se em seis partes. Inicialmente, indicamos os principais conceitos da tecnologia de Geoprocessamento. A seguir, apresentamos uma visão geral sobre a evolução da tecnologia de SIG, dividindo-a em três gerações: a primeira geração (“*CAD cartográfico*”), a segunda (“ambiente cliente-servidor”) e a terceira (“grandes bancos de dados espaciais”). Cada uma destas classes de sistemas é discutida em maior detalhe. Finalmente, indicamos os desenvolvimentos tecnológicos feitos no INPE, em atendimento aos desafios de evolução da tecnologia e usos de SIG.

¹Texto adaptado de conferências proferidas no Simpósio da SOBRACON, São Paulo, 1995 e no Simpósio sobre Quantificação em Geociências, Rio Claro, 1995. Este trabalho de pesquisa tem o apoio do CNPq, através do programa ProTem/CC.

2 Características de SIG

Qual a característica fundamental de um sistema de Geoprocessamento? A faculdade de armazenar, recuperar e analisar *mapas* num ambiente computacional. Um mapa é uma representação gráfica dos fenômenos espaciais. Num ambiente computacional, a noção de mapa deve ser estendida para incluir diferentes tipos de dados como *imagens de satélite* e *modelos numéricos de terreno*.

Os sistemas de informação geográfica (SIG) procuram *simular a realidade do espaço geográfico*. As principais características de SIGs são:

- Integrar informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.
- Oferecer mecanismos para análise geográfica, através de facilidades para consultar, recuperar, manipular, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

À diferença de sistemas CAD, uma característica básica e geral num SIG é sua capacidade de tratar as relações espaciais entre os objetos geográficos (*topologia*) e de apresentar os dados espaciais em diversas projeções cartográficas. Armazenar a topologia de um mapa é uma das características básicas que fazem um SIG se distinguir de um sistema CAD.

Em grande parte das aplicações de CAD, os desenhos não possuem atributos descritivos, mas apenas propriedades gráficas (como cor e espessura). Já em Geoprocessamento, os dados geográficos possuem atributos, o que torna necessário prover os meios de consultar, atualizar e manusear um banco de dados espaciais.

Numa visão abrangente, pode-se indicar que um SIG tem os seguintes componentes:

- Interface com usuário.
- Entrada e integração de dados.
- Funções de análise espacial (processamento gráfico e de imagens) e consulta espacial.
- Visualização e Geração de Cartas (plotagem).
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

Estes componentes se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a *interface homem-máquina* define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de consulta e processamento de dados espaciais. No nível mais interno do sistema, um *sistema de gerência de bancos de dados geográficos* oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos. A estrutura de um SIG está ilustrada na Figura 1.

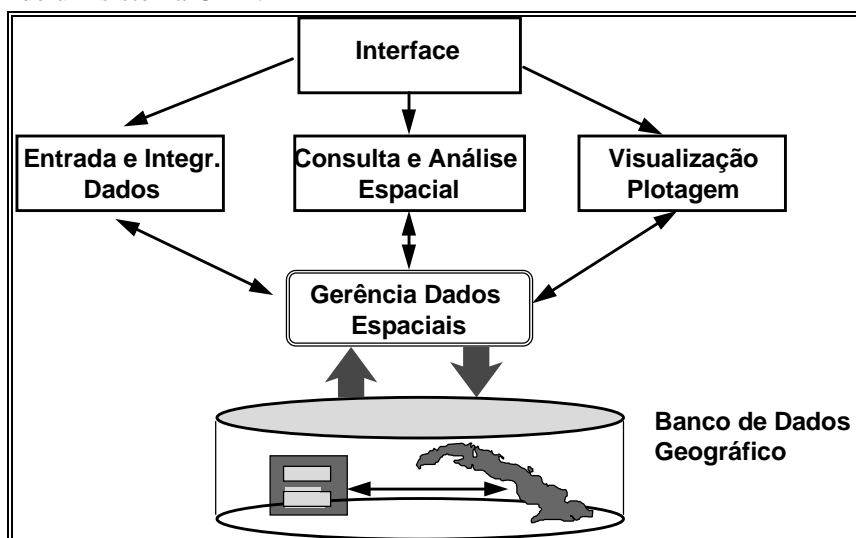


Figura 1 - Componentes de um Sistema de Informação Geográfica

3 Evolução da tecnologia de SIG

Numa visão retrospectiva e prospectiva sobre a tecnologia de SIG, os autores consideram a existência de três gerações de sistemas.

A *primeira geração*, cujo desenvolvimento se inicia na década de 80, caracteriza-se por sistemas herdeiros da tradição de cartografia automatizada, cujo suporte de bancos de dados é limitado (alguns podem operar em conjunto com SGBD tabulares) e cujo paradigma típico de trabalho é o mapa (chamado de “cobertura” ou de “plano de informação”). Esta primeira geração de sistemas foi desenvolvida inicialmente para ambientes da classe VAX e - a partir de 1985 - para sistemas PC/DOS.

A utilização desta classe de sistemas é principalmente em projetos isolados; os levantamentos de inventário, na maior parte das vezes, não tem a preocupação de gerar arquivos digitais de dados.

A *segunda geração* de SIGs chegou ao mercado no início da década de 90 e caracteriza-se

por sistemas concebidos para uso em conjunto em ambientes cliente-servidor. Usualmente, tais sistemas funcionam acoplados a gerenciadores de bancos de dados relacionais (como ORACLE e INGRES) e incluem pacotes adicionais para processamento de imagens. Esta geração foi tipicamente desenvolvida em ambientes multi-plataforma (UNIX, OS/2, Windows) com interfaces baseadas em janelas.

Pode-se prever, para o final da década de 90, o aparecimento de uma *terceira geração* de SIGs. Esta geração será herdeira do enorme interesse dos usuários em redes locais e remotas de computadores, e no uso do 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 *interoperabilidade*, de maneira a permitir o acesso de informações espaciais por SIGs distintos.

A evolução da tecnologia e uso de SIG serão detalhadas nas seções seguintes.

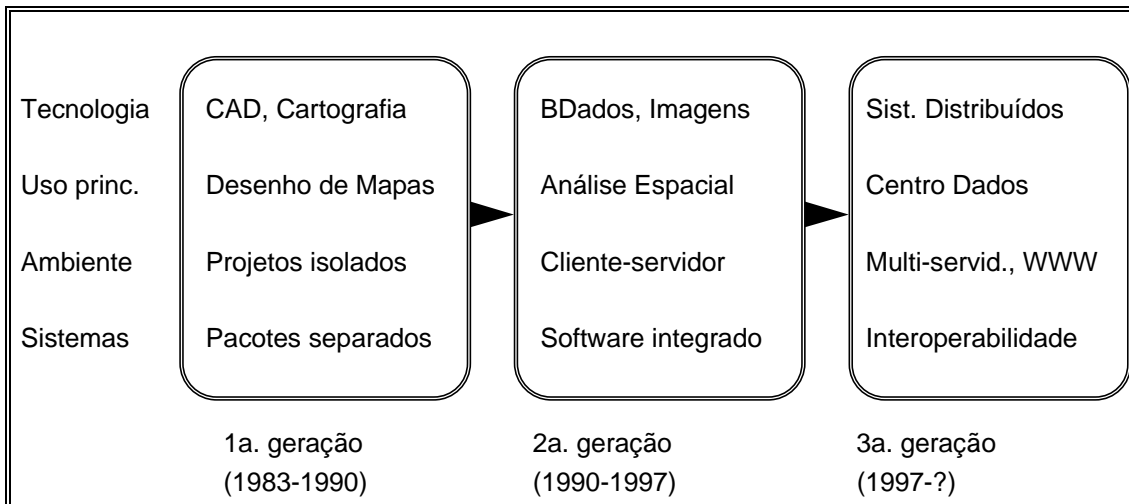


Figura 2 - Evolução da tecnologia de SIG

4 A primeira geração: CAD cartográfico

4.1 Tecnologia de sistemas

Os sistemas de primeira geração (entre os quais se situa o SGI/INPE) são sistemas mais adequadas à realização de *projetos de análise espacial* sobre regiões de pequeno e médio porte. Trata-se de sistemas que enfatizam o aspecto de mapeamento e procuram (na maior parte dos casos) criar um ambiente de trabalho de rápido aprendizado.

Após definir a área de trabalho e a projeção cartográfica a ser utilizada, o sistema já permite a entrada de dados, assemelhando-se assim a ambientes de CAD.

Por força de sua concepção, tais ambientes não possuem suporte adequado para construir grandes bases de dados espaciais. Detalhamos tais requisitos na seção 6 deste trabalho, mas destacamos um problema em especial, que não pode ser atendido por estes sistemas: a manutenção da *identidade dos objetos geográficos* entre projetos de um mesmo banco de dados que cobrem áreas geográficas distintas.

4.2 Utilização

A primeira e natural utilização dos SIGs na maioria das organizações é como ferramentas para produção de mapeamento básico. Seja na montagem de mapas de cadastro de lotes de um município, seja no monitoramento do desflorestamento da Mata Atlântica, este tipo de trabalho gera, ao final, mapas temáticos ou cadastrais (na maior parte dos casos, inéditos).

Nestes casos, os SIG são utilizados como sistemas CAD que possuem a capacidade de representar projeções cartográficas e de associar atributos a objetos espaciais.

Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais, esta maneira de utilizar a tecnologia de Geoprocessamento apresenta uma grande e valiosa contribuição. Desafortunadamente, muitas instituições usuárias de SIG tomam pouco cuidado em manter uma base de dados digital de seus resultados. Em

consequência, 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 150 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.

5. A segunda geração: ambientes cliente-servidor

5.1 Tecnologia de sistemas

Sistemas de *segunda geração* (como o SPRING/INPE) foram pensados para dar suporte (total ou parcialmente) a ambientes cliente-servidor, mantendo a continuidade de informações entre mapas contíguos. Tais sistemas operam normalmente em conjunto com um gerenciador de bancos de dados relacional, que armazena as informações descritivas sobre os objetos geográficos.

A segunda geração de SIG apresenta ainda linguagens de consulta, manipulação e representação de objetos espaciais de grande poder expressivo. As linguagens de consulta são baseadas em SQL (como a apresentada em Egenhofer, 1993) e a manipulação de dados geográficos é baseada em álgebra de mapas (Tomlin, 1990; Câmara et al., 1994).

Em aplicações como Redes Elétricas ou Telefônicas, a gerência de dados é ainda mais sofisticada, e inclui técnicas de controle de transações (“check-in”, “check-out”) e de integridade (armazenamento de dados nos “campos longos” dos bancos de dados).

Para aplicações em meio-ambiente e cadastro, é imprescindível dispor de funções para o processamento de imagens geradas por satélite e aviões. Alguns dos sistemas de segunda geração de SIG realizam a integração entre imagens e dados temáticos de forma bastante adequada.

5.2 Utilização de SIG em ambientes cliente-servidor

Apesar dos grandes benefícios do ambiente cliente-servidor para as aplicações de Geoprocessamento, seu uso efetivo ainda é muito restrito no Brasil. As principais razões são de ordem *institucional*.

Em primeiro lugar, 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 da corporação. Isto requer que as bases de dados corporativas sejam transformadas para o mesmo ambiente de SGBD utilizado pelo SIG, o que pode enfrentar resistências.

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 estão sendo instalados nas concessionárias de telefonia em todo o Brasil.

6. Requisitos para a próxima geração de SIG

Para mapear a expectativa de evolução na área, o primeiro passo é identificar como vem evoluindo as aplicações de Geoprocessamento, sob o ponto de vista de gerência de dados.

A maior parte dos sistemas disponíveis comercialmente é capaz de resolver adequadamente os problemas de projetos simples de mapeamento e análise espacial, mesmo em ambientes limitados como micro-computadores. No entanto, com o aguçamento da percepção dos problemas ecológicos, urbanos e ambientais,

crece a necessidade de entender processos de mudança de forma cada vez mais detalhada.

O novo paradigma para sistemas de geoprocessamento na década de 90 parte de um grande banco de dados geográficos. Este banco pode conter dados sobre toda uma cidade de grande porte ou sobre uma grande região como a Amazônia, e tem dimensão da ordem de dezenas de gigabytes.

Imagine-se, por exemplo, 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 ser acessado 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. Para cada usuário, deve-se permitir diferentes métodos de seleção, incluindo folheamento ("browsing") e linguagem de consulta. É preciso ainda estabelecer mecanismos de resolução de conflitos entre versões distintas dos mesmos dados. Para responder a estes desafios, a comunidade de pesquisa em Geoprocessamento e Bancos de Dados Geográficos vem tomando várias iniciativas, inclusive:

- O projeto "SEQUOIA 2000" (Stonebraker and Dozier, 1991), liderado pela Universidade da

California, tem como objetivo apoiar os estudos de Mudanças Globais, permitindo o acesso e visualização eficientes a massas de dados estimadas em Terabytes.

- A ISPRS ("International Society for Photogrammetry and Remote Sensing") possui um grupo de trabalho voltado para o tema "GIS and Expert Systems for Global Environmental Databases". Seminário recente sobre o tema foi realizado sobre o tema (Tateishi, 1993).
- O NCGIA ("National Center for Geographical Information and Analysis"), programa de pesquisa da National Science Foundation dos EUA, possui uma "research initiative" em Grandes Bancos de Dados Espaciais (Smith and Frank, 1989).
- O CNPq, através do programa ProTem/CC (Programa Temático de Pesquisa em Ciência da Computação), contemplou o projeto "Geoprocessamento: Sistemas e Técnicas", do qual participam a UNICAMP, INPE, IBM Brasil, UFPe, UFRJ, PUC/Rio, UFG, EMBRAPA, TELEBRÁS e PETROBRÁS.

Tendo em vista o panorama geral, o restante desta seção apresenta os principais requisitos da nova geração de SIG.

Definição de esquema conceitual

Num SIG, é fundamental que a realidade geográfica possa ser modelada conceitualmente, de forma a permitir caracterizar os objetos geográficos e seus relacionamentos. A esquema conceitual e sua representação no computador devem ser separados, para permitir a criação de interfaces próximas ao mundo real e a integração de dados geográficos advindos de fontes distintas.

A nova geração de SIG deve permitir ao usuário definir seu esquema conceitual com técnicas típicas de *modelagem orientada-a-objetos*, permitindo expressar relacionamentos de *especialização e agregação*. Por exemplo, num mapa cadastral, o classe de objetos indicada por *hospital* pode ser especializada em *hospital público* e *hospital privado*. Os atributos da classe *hospital* são herdados pelas sub-classes *hospital público* e *hospital privado*, que podem ter atributos próprios.

Identidade de objetos

O processo de entrada e carga de dados num SIG é, na prática, realizado a partir de mapas em projeções cartográficas. Estes mapas definem recortes arbitrários no espaço e podem dividir objetos geográficos. Por exemplo, um mapa da Amazônia na escala 1:250.000 faz com que os principais rios tenham representações geométricas em vários mapas.

A primeira geração de SIG tratava cada área geográfica como uma entidade independente. Para o caso de grandes bases de dados geográficos, o que se procura é criar um ambiente aonde se possa ter acesso aos objetos, sem estar limitado.

Por exemplo, para responder à consulta: "indique todas as reservas indígenas a 20 km do rio Xingu", num banco de dados da Amazônia aonde os dados estão armazenados a partir de informações em escala de 1:250.000, é preciso que o banco reconheça o "rio Xingu" como entidade única, com representações em vários particionamentos do BD.

Folheamento ("browsing")

O folheamento pode ser visto como uma *seleção baseada em apontamento*: uma interface interativa permite ao usuário percorrer o banco de dados. No caso de Geoprocessamento, o que se faz é apresentar uma visão geral do conteúdo do banco. O usuário pode selecionar objetos na tela e apresentar seus atributos (espaciais ou não) e escolher uma região de interesse para uma análise mais detalhada.

Prover mecanismos de folheamento 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*. Uma sequência de mapas-índice pode ser um mecanismo eficiente de folheamento, com uma possível hierarquia do tipo país-estado-município.

Gerencia de Transações

Em Geoprocessamento, o conceito de "transação" tem um significado distinto daquele empregado num ambiente comercial. Uma abordagem inicialmente proposta é a idéia de uma "transação longa", com as noções de "check-out" e "check-in".

O processo de extração dos dados de interesse do banco de dados geográfico (processo de "check-out") envolve a definição de área geográfica de interesse; esta área preferencialmente deve ser escolhida sem limitação prévia de recobrimento espacial. Os dados contidos nesta região são copiados para uma área de trabalho separada, onde o usuário pode manipula-los, e depois devolvido de volta para o banco ("check-in"). Durante a duração da sessão, a área extraída do banco fica sujeita a um controle de acesso.

Linguagens de Consulta e Manipulação

A atual geração de linguagens de consulta em SIG baseia-se em extensões da linguagem SQL com operadores espaciais (Egenhofer, 1993). A falta de padronização na área levou a uma situação aonde cada sistema utiliza sua própria extensão de SQL.

Os trabalhos mais recentes nesta área (Egenhofer, 1992; Egenhofer, 1994; Câmara et al., 1994) indicam a necessidade de combinar as operações de consulta espacial (expressas em SQL com extensões) com operações de apresentação e manipulação de dados espaciais.

Ambientes distribuídos e federativos

As indicações tecnológicas e de usuários indicam que o paradigma *cliente-servidor* será substituído pelo conceito de *arquiteturas*

orientadas a serviços. A idéia é substituir o esquema rígido que concentra todo o processamento de dados e consultas num único servidor, por uma arquitetura flexível e distribuída.

Com o grande aumento da capacidade computacional das estações de trabalho, a distinção entre os desempenhos dos ambientes cliente e servidor diminuiu bastante. Deste modo, é importante distribuir o processamento ao longo da rede, para aproveitar todo o potencial de uma rede de computadores.

A figura abaixo ilustra o conceito de arquitetura distribuída. O coração desta arquitetura é um "malha de interoperabilidade", responsável pelo anúncio dos serviços disponíveis na rede e pela comunicação entre os clientes e os servidores. Este serviço de conexão entre os diversos programas implementa um "modelo de objetos", uma representação que transcende os limites de um único aplicativo e uma única linguagem. Na literatura, este serviço também é chamado de "request broker".

Há um enorme interesse, da parte das principais empresas de informática, no desenvolvimento de soluções para arquiteturas distribuídas. De forma geral, duas grandes soluções estão sendo anunciadas: o padrão CORBA (Common Object Request Broker Architecture), desenvolvido por um consórcio que inclui a IBM, SUN, HP e DEC e o padrão OLE (Object Linking and Embedding), desenvolvido pela Microsoft.

A nova geração de SIG deverá incluir, como parte de suas soluções, mecanismos de controle de arquiteturas distribuídas.



Figura 3 - Arquiteturas orientadas a serviços

7. Desenvolvimentos tecnológicos no INPE e atendimento aos desafios de evolução

O INPE vem trabalhando no desenvolvimento de sistemas de Geoprocessamento e Processamento de Imagens desde 1984, quando iniciou o projeto dos sistemas SITIM e SGI. Estes sistemas são típicos da primeira geração de SIG, por privilegiarem os aspectos de mapeamento.

A partir de 1991, o INPE engajou-se na concepção e desenvolvimento de um software de segunda geração: o SPRING (Câmara et al., 1992). O SPRING opera em conjunto com sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais e fornece um ambiente integrado para tratar mapas temáticos, modelos numéricos de terreno, mapas cadastrais, redes e imagens de satélite. O desenvolvimento do SPRING tem a participação do Centro Nacional de Pesquisa para Informática Agropecuária (CNPTIA) da EMBRAPA e do Centro Científico IBM Rio.

Atualmente, o INPE inicia estudos para o projeto e desenvolvimento de um sistema de terceira geração, a ser utilizado para gerenciar o Centro de Dados e Informações Espaciais do INPE.

8. Comentários Finais

Neste trabalho, apresentamos uma visão sobre a tecnologia de Geoprocessamento. Nossa expectativa é de que à medida em que aumenta a maturidade das instituições nesta área, o uso de SIG como *bancos de dados espaciais* passe a prevalecer sobre o uso de SIG como “CAD Cartográfico”.

9. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Ricardo Cartaxo (INPE) e a Marco Casanova e Andrea Hemerly (IBM Brasil) pelas muitas e estimulantes discussões e comentários sobre a evolução da tecnologia de SIG.

Este trabalho é dedicado à equipe do DPI/INPE envolvida no desenvolvimento dos sistemas SITIM, SGI e SPRING.

10. Referências

- Asrar, G.; Dozier, J.** *EOS: Science Strategy for the Earth Observing System*. Woodbury, NY, AIP Press, 1994.
- Burrough, P.A.** *Principles of geographic information systems for land resources assessment*. Clarendon Press, Oxford, 1987.

- Burrough, P.A.** "Development of intelligent geographical information systems". *International Journal on Geographical Information Systems*, 6(1):1-11, 1992.
- Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U.M.; Casanova, M.A.** "SPRING: Processamento de Imagens e Dados Georeferenciados ". V Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, Aguas de Lindóia, novembro de 1992.
- Câmara, G.; Freitas, U.M.; Cordeiro, J.P.C.,** 1993. "Towards an Algebra of Geographical Fields". in: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS. Anais. Curitiba, 1994, pp. 205-212.
- Egenhofer, M.,** 1992. "Why Not SQL!", *International Journal of Geographic Information Systems*, 1992, Vol. 6, No.2.
- Egenhofer, M.,** 1994. "Spatial SQL: A Query and Presentation Language", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol.6, pp. 86-95, 1994.
- Smith, T.R.; Frank, A.** *Report on Workshop on Very Large Spatial Databases*. NCGIA Technical Paper 89-13, Santa Barbara, CA, 1989.
- Tateishi, R.** (ed.) *International Workshop on Global GIS*. Proceedings. Tokio, ISPRS Working Group IV/6, 1993.
- Tomlin, D.** *Geographic information systems and Cartographic Modeling*. Prentice Hall, New York, 1990.