

SPRING: PROCESSAMENTO DE IMAGENS E DADOS GEOREFERENCIADOS

GILBERTO CÂMARA¹
RICARDO CARTAXO MODESTO DE SOUZA¹
UBIRAJARA DE MOURA FREITAS¹
MARCO ANTÔNIO CASANOVA²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Divisão de Processamento de Imagens - DPI
Caixa Postal 515
12201 - São José dos Campos - SP

²IBM Brasil - Centro Científico
Av. Presidente Vargas, 824
20071 - Rio de Janeiro - RJ

Abstract. This work describes the SPRING system, an object-oriented GIS for UNIX workstations, developed using the C++ language and the X Window System and integrated with a data base environment. SPRING is based on a general data model which breaks the raster-vector dichotomy, and provides the user with a unified view of data. SPRING is being developed by INPE, with important support from EMBRAPA (Brazil's Agricultural Research Agency) and the IBM Rio Scientific Centre.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve o projeto e a implementação inicial do SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas), que funciona em estações de trabalho UNIX, sob o "X window system". Dá-se ênfase à concepção e à arquitetura do sistema.

O objetivo do projeto SPRING é construir um sistema de Geoprocessamento que, além de usar tecnologia no estado-da-arte, lida com a complexidade dos dados ambientais.

Inicialmente, disserta-se sobre as tendências internacionais da área e os objetivos do projeto. Segue a descrição do esquema conceitual do SPRING, pedra de toque do sistema. A arquitetura e a funcionalidade da versão 1.0 do sistema completam o artigo.

2. TENDÊNCIAS INTERNACIONAIS

A maior parte dos sistemas para Geoprocessamento disponíveis hoje no mercado foi concebida e desenvolvida entre meados da década de 70 e o começo da década de 80. Tipicamente, estes sistemas começaram voltados para uma área específica de aplicação e, em sua evolução, agregaram módulos para tratar novos tipos de dados. Isto faz com que a concepção não seja *integrada*.

As tendências atuais indicam a necessidade de uma ligação forte entre os diversos componentes (Ehlers et al., 1989). A figura 1 (adaptada de Ehlers et al., 1989)

mostra a evolução prevista para a área.

Estudo recente (Bill, 1990) aponta tendências para os sistemas de informação geográfica (SIG) da próxima geração:

- o SIG deve funcionar em UNIX e está programado em C ou linguagens orientadas por objeto. O X-window será usado como interface de usuário, para facilitar a portabilidade do sistema.
- o SIG deve administrar dados vetoriais e seus descritores, além de dados "raster", sendo um sistema híbrido que organiza seus dados fisicamente num banco de dados relacional, ou num modelo de dados orientado-por-objeto.
- o SIG deve conter um pacote básico para aquisição, edição e saída de dados, e facilidades para análise e relatório. Deve conter rotinas para processamento de imagens e para análise geográfica, além de pacote para modelagem numérica de terreno. Aplicativos especiais (p.ex. redes) devem ser integrado ao SIG conforme o grupo-alvo.

Do ponto de vista de hardware, há uma nítida tendência do abandono de soluções fechadas e únicas, em favor da tecnologia de PCs e estações de trabalho UNIX. "

Outro ponto de evolução é o uso de gerenciadores de bases de dados relacionais (SGBD). Um banco de dados apresenta os dados tabulares numa visão independente dos sistemas aplicativos, além de garantir três requisitos importantes: *eficiência* (acesso e modificação de grandes volumes de dados); *integridade* (controle de acesso por múltiplos usuários); e *persistência* (manutenção de dados por longo tempo, independentemente dos aplicativos que acessem o dado).

3. OBJETIVOS DO PROJETO SPRING

Ao se conceber o SPRING, procurou-se atender às tendências da tecnologia, visando um sistema que venha a ser transformado num produto de amplo uso.

Os objetivos do sistema SPRING são:

- Fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados cartográficos.
- Estar integrado a um ambiente de banco de dados para arquivar e recuperar dados espaciais e seus atributos.
- Dispor de uma biblioteca de classes em C++, para compor um sistema extensível para desenvolvimento de novas aplicações em Processamento de Imagens e GIS.

Um único ambiente permite combinar processamento de imagens, análise geográfica e modelagem digital de terreno. A interface com o banco de dados modela a metodologia de trabalho de estudos do meio-ambiente, garantindo acesso e integridade em ambiente multi-usuário.

4. ESQUEMA CONCEITUAL DO BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

A concepção do sistema previu um ambiente único que integrasse os diferentes formatos de dados geográficos. Este requisito levou a um esquema conceitual que pretende:

- prover uma representação para os dados do mundo real;
- organizar as entidades e relacionamentos de um banco de dados ambiental;

- distinguir entre os vários tipos de entidades e ligar dados gráficos e não-gráficos, ao permitir geometrias distintas - vetor, varredura e grade - em um único sistema.

- servir com base para a definição das classes e métodos para programação orientada-a-objetos.

Este esquema conceitual está formulado em Câmara et. al. (1992), baseado em estudos anteriores (Erthal et. al., 1988; Alves, 1990).

Concepção Geral

A arquitetura básica do SPRING, com relação ao banco de dados, é um ambiente dual. Esta estrutura permite o uso de SGBD relacionais convencionais e é utilizada em sistemas comerciais, como o ARC-INFO e o MGE/Intergraph.

A informação descritiva é armazenada num SGBD relacional, enquanto que os dados espaciais são guardados num subsistema de tratamento de dados espaciais. Os componentes de cada objeto geográfico (descritivo e espacial) estão ligados por meio de um identificador de objeto.

A alternativa seria utilizar ou SGBD extensível também para o manuseio de dados espaciais, como é feito por exemplo no sistema GEO++ (Vijbrief and Osterom, 1992). Esta abordagem, embora interessante conceitualmente, limitaria a escolha dos usuários e a aplicabilidade imediata do SPRING.

O esquema conceitual está baseado no conceito de *geo-objetos*. Os geo-objetos podem ser divididos em classes, e geo-objetos podem ser agrupados, formando uma hierarquia. A figura 2 ilustra o modelo conceitual do SPRING.

Geo-objetos

Uma *base de dados georeferenciada* é basicamente um conjunto de objetos geográficos, ou, abreviadamente, de *geo-objetos*. Os geo-objetos podem estar organizados segundo uma hierarquia de especialização, e um geo-objeto pode ser *complexo*, isto é, composto de uma agregação de outros geo-objetos. Pode-se especializar os objetos de uma base de dados em mapas, modelos digitais de terreno e imagens de satélite. As imagens de satélite podem ser vistas como objetos complexos compostos de bandas espectrais.

Não há restrição na representação gráfica de um geo-objeto. Pode ser uma matriz de pontos ("pixels") para imagens de satélite, um conjunto de polígonos para

uma cidade (região temática) ou uma grade de pontos para um modelo digital de terreno.

Os atributos de um geo-objeto podem ser classificados como *intrínsecos* e *extrínsecos*, sendo estes últimos aqueles que pertencem aos objetos do mundo real representados pelo geo-objeto. Por exemplo, um mapa de uma cidade tem como atributos intrínsecos um conjunto de polígonos (sua geometria) e como atributos extrínsecos o nome e a população da cidade que ele representa. Os atributos extrínsecos estarão associados às relações num gerenciador de bancos de dados relacional.

Classes de geo-objetos

O SPRING lida com as seguintes classes de geo-objetos:

- *Modelo Temático*: regiões geográficas definidas por um ou mais polígonos, onde cada região corresponde a um tema distinto. Um geo-objeto temático é um objeto complexo cujos componentes são nós, arcos, polígonos e centróides. A topologia, importante na análise espacial, é mantida.
- *Modelo Numérico de Terreno*: distribuição espacial de variáveis físicas (como topografia, aeromagnetismo e temperatura).
- *Modelo Pontual*: entidades localizadas, que indicam a um fenômeno pontual no espaço, como poços de petróleo.
- *Modelo de Imagem*: podem ser geradas por satélites (e.x., GOES, METEOSAT, TIROS e LANDSAT), por aerolevantamento ou radar.
- *Modelo de Redes*: Redes são estruturas lineares conectadas, que guardam informação acerca dos fluxos entre diferentes localizações geográficas, como redes de água e saneamento.

Geo-objetos complexos

O SPRING tem dois tipos de objetos complexos, chamados de *planos de informação* e *projetos*. Um plano de informação agrega geo-objetos com atributos similares. Exemplos são:

- Uma imagem de satélite LANDSAT TM, adquirida numa certa data, com 7 bandas espectrais;

- Um mapa de divisão política de um estado, onde cada município corresponde a um geo-objeto distinto.

Um *projeto* contém um conjunto de planos de informação e corresponde a um conjunto de dados que o usuário quer analisar numa sessão de trabalho no SPRING, agrupados por área geográfica.

5. ARQUITETURA DO SPRING

A arquitetura geral do sistema tem os seguintes componentes, sob o ponto de vista de fluxo de dados (mostrada na figura 3):

- *interface homem-máquina*: mecanismos para seleção das funções do sistema.
- *área de trabalho*: espaço em memória principal aonde estão guardados as informações do projeto sendo estudado;
- *carga de dados*: recupera as informações de um projeto do banco de dados (atributos intrínsecos e extrínsecos);
- *construtor de consultas*: permite a montagem de "queries" SQL sobre os atributos dos geo-objetos;
- *processador de geo-objetos*: conjunto de módulos de processamento de imagens, análise geográfica e modelagem digital de terreno;
- *visualizador*: operações de "zoom" e controle de eventos em múltiplas janelas;
- *interface com banco de dados*: provê a ligação com os vários SGBD a ser usados em conjunto com o SPRING.

Interface homem-máquina

A interface do SPRING com o usuário consiste num conjunto de menus, dentro do "X window system". A figura 4 mostra a interface do SPRING.

Área de trabalho

As operações gráficas do SPRING são realizadas sobre uma área de trabalho em memória. Para esta área, são copiados os dados do projeto escolhido pelo usuário.

Após um conjunto de ações, os resultados podem ser salvos no banco de dados.

Carga de Dados

A primeira operação realizada por um usuário no SPRING é escolher um projeto de trabalho e carregar seus dados para a *área de trabalho*. Esta operação de carga envolve uma consulta ao SGBD.

Construtor de consultas

Ao contrário do módulo de carga de dados, esta operação permite a montagem de uma consulta (por apontamento ou por meio da linguagem SQL). Será feita a seleção parcial de todos os geo-objetos que satisfizerem as restrições da consulta, para posterior visualização.

Visualizador

O módulo de visualização possui mecanismos para controle de eventos assíncronos gerados pelo ambiente X Window. Até quatro áreas de desenho estão disponíveis para mostrar imagens e gráficos.

Um pacote de desenho 2D com ferramentas como "splines" e preenchimento de padrões é utilizado.

Processador de geo-objetos

Sob este título, foram agrupadas as funções de análise geográfica e processamento de imagens, que transformam e modificam geo-objetos.

Interface com banco de dados

O SPRING foi projetado para ser independente de qualquer SGDB em especial. Há uma interface bem definida, através de uma classe dita "DataBase", que tem subclasses derivadas para cada SGDB específico a ser ligado ao SPRING.

Dadas as propriedades de *herança* disponíveis em C++, o conjunto de métodos usado pela classe DataBase terá implementação específica para cada SGDB. Atualmente, estão disponíveis implementações para o SGDB relacional estendido PostGRES (Stonebreaker and Kemnitz, 1991) e o INGRES. No caso de SGBD relacionais, os métodos utilizam a interface de programação padrão SQL, o que facilita o porte para outros SGBD relacionais (Oracle, Sybase, Informix).

6. A BIBLIOTECA DE CLASSES DO SPRING

A biblioteca de classes do SPRING é uma ferramenta geral para o projeto de sistemas de Geoprocessamento. Reflete diretamente o esquema conceitual (descrito na seção 4) e contém métodos para lidar com os vários tipos de dados geográficos.

As classes na biblioteca do SPRING podem ser agrupadas da seguinte maneira :

- organização de dados;
- geometrias;
- interface homem-máquina;
- funções gráficas;
- interface com banco de dados;
- objetos espaciais;
- projeções cartográficas;
- estruturas de dados;
- funções de processamento de imagens;
- funções de análise espacial.

7. FUNCIONALIDADE

O SPRING está sendo desenvolvido como um produto e não apenas como uma ferramenta de pesquisa. Segue uma descrição da versão 1.0, prevista para o final de 1992.

* Entrada de dados

Dados podem estar em fita magnética (LANDSAT e SPOT), ou ser digitalizados em tabletes. A edição e rotulação das entidades espaciais é altamente interativa.

* Modelagem Digital de Terreno

Cálculos de modelagem digital de terreno incluem a plotagem de contornos, geração de mapas de declividade e aspecto, determinação de volumes e perfis, e visualização 3D (em aramado ou superposta a imagens ou mapas temáticos).

* Análise Espacial e Acesso ao Banco de Dados

As funções de análise disponíveis no SPRING incluem tanto operações espaciais (tais como superposição de polígonos) quanto "queries" de atributos no banco de dados.

O usuário pode definir relações de atributos no banco de dados, que pode ser usado para operações de "query" espaciais.

A conversão "raster-to-vector" assegura o mapeamento entre a operação realizada no espaço de varredura e a representação topologicamente estruturada.

* *Processamento de Imagens*

Funções completas de realce e tratamento de imagens multiespectrais estão disponíveis, incluindo: manipulação de histograma, filtragem espacial, classificadores de máxima verossimilhança e de segmentação, transformação IHS-RGB e análise de componentes principais.

* *Visualização*

A superposição de imagens e cartas no SPRING é completada por facilidades de "zooming". Imagens multiespectrais são mostradas em "displays" padrão 8-bit usando um método sofisticado de compressão de cor.

* *Produção de mapas*

A produção de mapas de alta qualidade é assegurada no SPRING por funções para composição e preparo de mapas, incluindo o gerenciamento de uma biblioteca de símbolos. Os símbolos podem ser importados de programas populares de CAD no formato DXF. O sistema pode gerar saída gráfica para plotadoras eletrostáticas, de transferência térmica e de caneta e para dispositivos PostScript.

* *Projeções Cartográficas*

Estão disponíveis 12 padrões de projeção para as variadas necessidades do usuário de GIS. A transformação entre projeções é feita automaticamente pelo sistema sempre que necessário.

8. SESSÃO DE TRABALHO

Um usuário numa sessão de trabalho típica no SPRING pode realizar as seguintes tarefas:

- Criar um Banco de Dados Georeferenciado (BDG). Um BDG é um repositório de geo-objetos, que possui uma semântica (metodologia de trabalho) comum.
- Criar um projeto, unidade básica de trabalho, correspondente a uma área geográfica de interesse. O BDG é particionado em projetos, e cada geo-objeto num BDG pertence a um projeto.
- Importar para o projeto dados de outros sistemas ou de outros projetos. Novos dados de mesas digitalizadoras ou em forma digital também podem ser incluídos.
- Selecionar um projeto existente.
- Analisar, editar, processar e visualizar geo-objetos.
- Consultar o BDG sobre os atributos dos geo-objetos de um dado projeto (interface com menus or por meio de SQL).
- Produzir documentos cartográficos.
- Salvar o projeto no BDG corrente.

9. STATUS DO SOFTWARE

Em sua versão inicial, o SPRING já é um produto de médio porte, com mais de 90.000 linhas de código em C++, num esforço de 30 homens-ano (até o final de 1992). A equipe de desenvolvimento conta com 18 analistas no INPE. Estão previstas versões para SUN SPARC Stations, Silicon Graphics IRIS 4D, IBM RISC/6000 e HP série 700.

O SPRING está disponível, em código-fonte e sem custo, para fins de pesquisa e desenvolvimento. Sua versão "beta" (para teste de campo) foi liberada para usuários de universidades e centros de pesquisa em início de junho de 1992. Calcula-se que, até o final de 1992, mais de 50 centros no País estarão utilizando o sistema.

CRÉDITOS

O desenvolvimento de sistemas de Geoprocessamento é uma área de interface entre Computação Gráfica,

Processamento de Imagens, Bancos de Dados não-convencionais, Geometria Computacional e Cartografia. É imprescindível reunir especialistas com perfil variado de conhecimento.

O SPRING é o resultado da cooperação entre a Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE e o Núcleo de Tecnologia para Informática Agropecuária (NTIA) da EMBRAPA, com substancial apoio do Centro Científico IBM-Rio na área de bancos de dados georeferenciados.

O projeto conta com a experiência de 10 anos da equipe da DPI/INPE, que desenvolveu o SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e o SGI (Sistema de Informações Geográficas), para o ambiente PC. Os sistemas SITIM e SGI compõem a maior base instalada no Brasil para Geoprocessamento, com um investimento de mais de 100 homens-ano e de 250.000 linhas de código (Câmara, 1992).

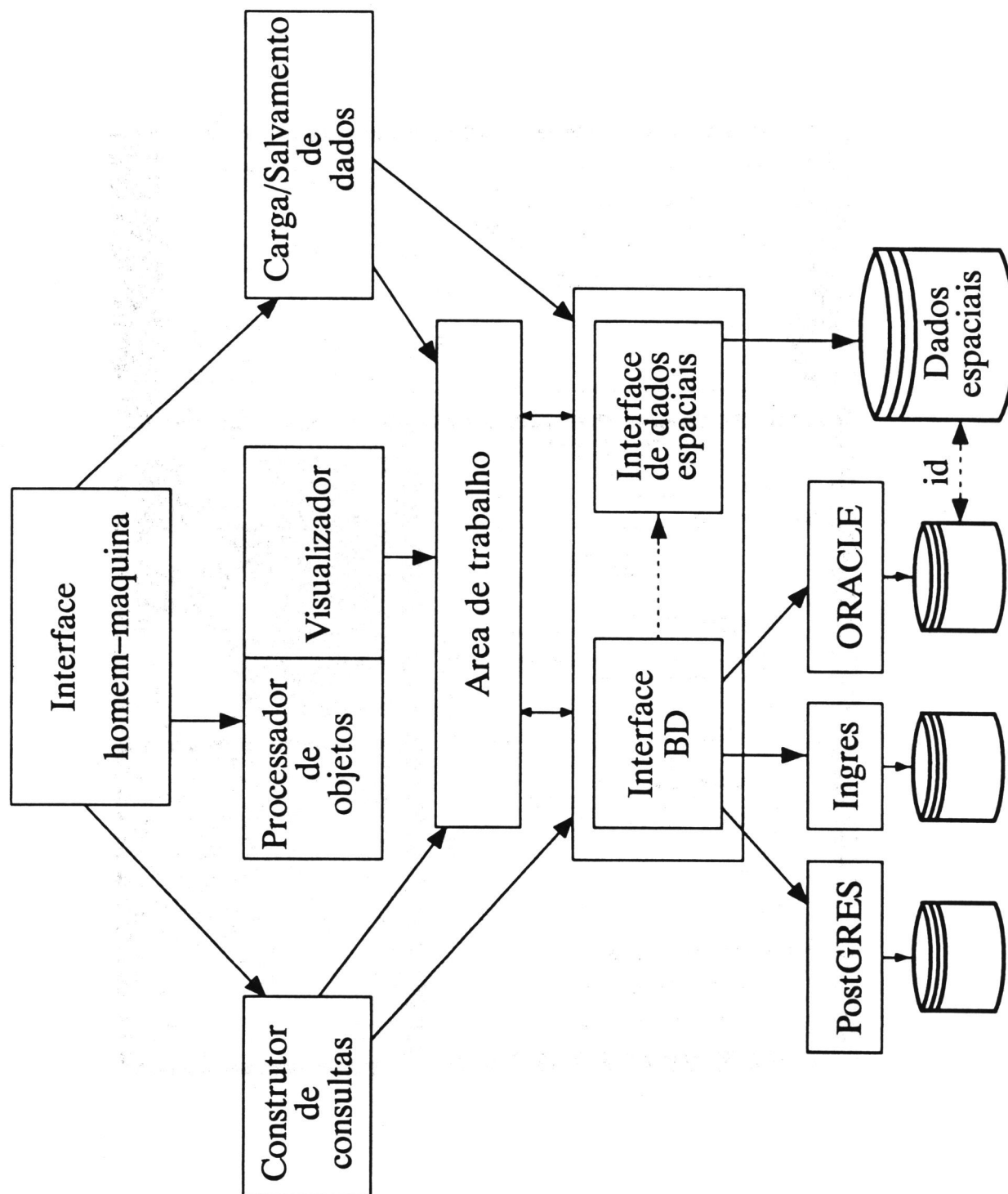
SPRING é um esforço de equipe. O gerente do projeto e arquiteto-chefe é Ricardo Cartaxo Modesto de Souza, contando o time ainda com os seguintes analistas: Ana Paula Dutra de Aguiar, André Hiroshi Alves, Carlos Felgueiras, Eduardo Camargo, Fernando Mitsuo Ii, Fernando Yamaguchi, Gilberto Câmara, Guaraci Erthal, Lauro Hara, Leonardo Bins, João Argemiro Paiva, João Ricardo Oliveira, Júlio D'Alge, Sérgio Rosim, Sílvia Shizue Ii, Ubirajara Moura de Freitas e Virgínia Ragoni Corrêa. Lygia Mammanna, Maycira Costa e Silvana Amaral tem a responsabilidade de controle de qualidade do produto e confecção do manual.

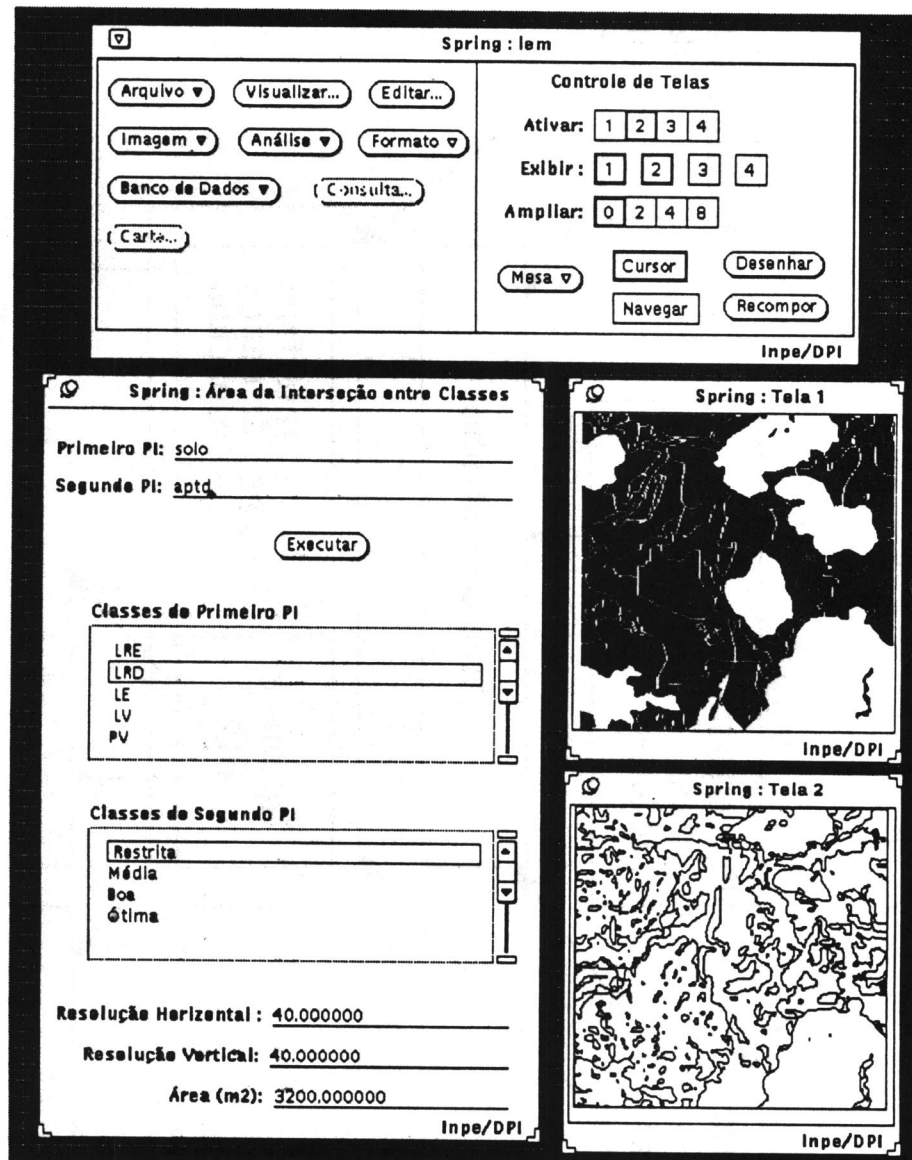
A formulação do modelo conceitual contou com a participação dos pesquisadores Marco Antônio Casanova, Luiz Tucherman e Andréa Hemerly do Centro Científico IBM-Rio.

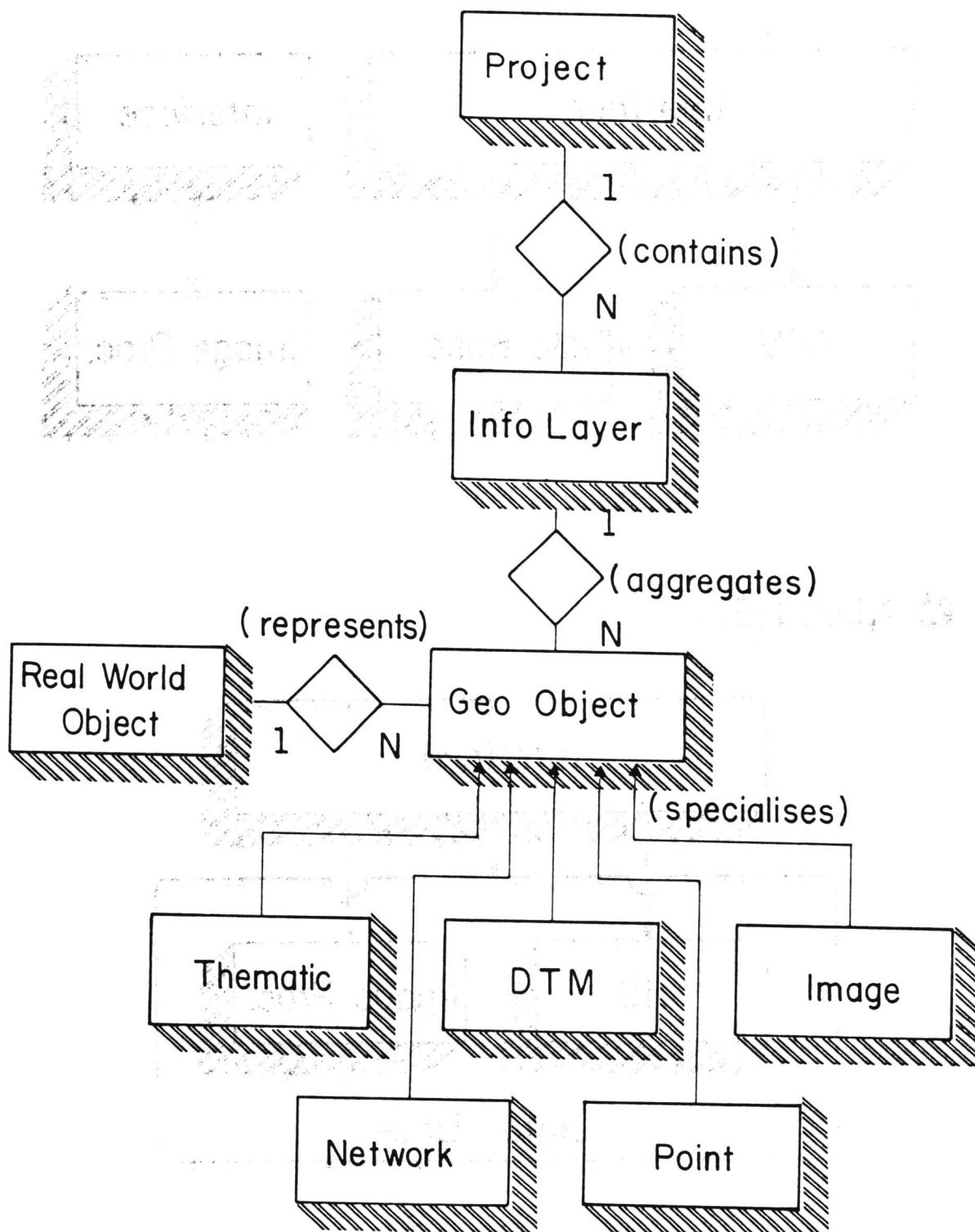
A Secretaria de Ciência e Tecnologia e CNPq tem apoiado o programa, através do programa RHAE.

REFERÊNCIAS

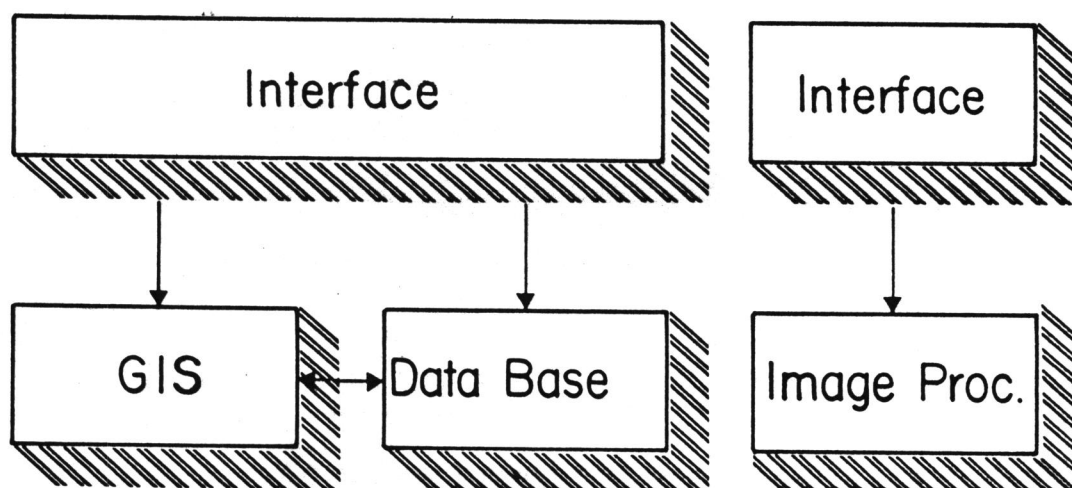
- D. S. Alves, *Modelos de Dados para Sistemas de Informação Geográfica*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1990.
- R. Bill . "SIG-Sistemas de Informação Geográfica: Estado da Arte e Tendências Futuras". *GIS*, Vol.3, pp. 26-33, 1990 (em Alemão).
- G. Câmara, U. Freitas, R.C.M. Souza, M. Casanova, and A. Hemerly, "Data Modelling and the Development of a Spatial Database for the Brazilian Amazonia", in *Proc. International Symposium on Photogrammetry and Remote Sensing*, Washington, DC, August 1992.
- G. Câmara, *Panorama e Perspectivas de Sistemas de Geoprocessamento no Brasil*. INPE, Relatório Técnico Interno, 1992.
- M. Ehlers, G. Edwards and I. Berard, "Integration of Remote Sensing with Geographic Information Systems: A Necessary Evolution", *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, No. 11, Nov. 1989, pp. 1619-1627.
- G. J. Erthal, G. Câmara and D.S. Alves, "A General Data Model for Geographic Information Systems", *Proc. International Symposium on Photogrammetry and Remote Sensing*, Kyoto, Japan, 1988.
- M. Stonebraker and G. Kemnitz, "The PostGRES Next Generation Database Management System", *Communications of the ACM*, Vol.34, No.10, October 1991.
- T. Vijbrief and P. v. Osterom, "The GEO++ System: An Extensible GIS". *Proc. International Symposium on Spatial Data Handling*, Arlington, VA, 1992.







★ EIGHTIES



★ NINETIES

