

1. Publicação nº <i>INPE-2782-PRE/348</i>	2. Versão	3. Data <i>Junho, 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DIN/DPI</i>	Programa <i>IMAGE</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>SISTEMAS GEOGRÁFICOS DE INFORMAÇÃO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS</i> <i>BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS</i>			
7. C.D.U.: <i>681.3.016:528.711.7</i>			
8. Título <i>INPE-2782-PRE/348</i> <i>PROJETO DE UM SISTEMA GEOGRÁFICO DE INFORMAÇÃO</i>		10. Páginas: <i>20</i>	11. Última página: <i>17</i>
9. Autoria <i>Gilberto Câmara Neto</i> <i>Flávio R.D. Velasco</i> <i>Júlia Leocádia de Oliveira</i>		12. Revisada por <i>Nelson D.A. Mascarenhas</i>	
Assinatura responsável <i>9 Ryan</i>		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
14. Resumo/Notas <i>Um Sistema Geográfico de Informação (SGI) é um conjunto de procedimentos computacionais que permitem combinar, analisar, armazenar e disseminar informações sobre dados codificados de maneira espacial (também chamados dados geocodificados). A extensão coberta por SGIs varia desde o âmbito municipal, para uso em planejamento e administração local, até sistemas nacionais, que têm, como aplicações mais usuais, o inventário e a análise de recursos naturais. Este trabalho descreve o projeto de um SGI - o SGINPE - que permite combinar imagens de satélites com outros tipos de dados (mapas e tabelas). A grande vantagem do uso de imagens de satélite em um SGI está na possibilidade de obter rapidamente informações atualizadas sobre as áreas de interesse, já em formato digital. Discutem-se, também, as principais dificuldades técnicas do projeto de um SGI, as soluções encontradas na literatura e as opções escolhidas para o SGINPE</i>			
15. Observações <i>Trabalho a ser apresentado no 10º Seminário Integrado de Software e Hardware - SEMISH que realizar-se-á em Campinas de 25 a 29/07/1983.</i>			

ABSTRACT

A Geographic Information System (GIS) is a computer system for gathering, storing, analyzing and disseminating information about spatially coded data (also called geo-coded data). The extent covered by a GIS can vary from citywide systems, used mainly for urban planning and local administration, to nationwide systems, whose principal applications are natural resource analysis and inventory. This work describes the project of a GIS - SGINPE - that enables combining of satellite imagery and other data such as maps and reports. The primary advantage of using LANDSAT imagery in a GIS is the possibility to quickly obtain, in digital format, recent information about selected areas. The main technical difficulties in a GIS project are discussed, as well as the solutions found in the literature and the options chosen for SGINPE.

PROJETO DE UM SISTEMA GEOGRÁFICO DE INFORMAÇÃO

Gilberto Câmara Neto
Flávio R.D. Velasco
Júlia Leocádia de Oliveira

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE/CNPq,
Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, S. Paulo
Telefone (0123) 22-9977, Telex (011) 33530

RESUMO ESTENDIDO

Um Sistema Geográfico de Informação (SGI) é um conjunto de procedimentos computacionais que permitem combinar, analisar, armazenar e disseminar informações sobre dados codificados de maneira espacial (também chamados dados *geocodificados*).

A utilização de computadores para processamento de dados geográficos é fenômeno relativamente recente; os primeiros SGIs datam de meados da década de 60 e a maioria, da década de 70. A extensão coberta por tais sistemas varia desde o âmbito municipal até o nacional. Sistemas municipais são utilizados principalmente para planejamento e administração local; sistemas regionais têm, como aplicação mais usual, o inventário e a análise de recursos naturais.

Não obstante as diferenças, os diversos SGI têm, usualmente, características em comum. Entre estas merecem ser citadas:

1. O núcleo de um SGI é um *banco de dados pictóricos* (coleção de dados bidimensionais codificada em diversos formatos);
2. É necessário promover a integração entre dados provenientes de diversas fontes (dados de censo, topográficos, imagens de satélites).

De uma maneira geral, todo SGI pode ser dividido em dois grandes subsistemas: o de *entrada* e o de *recuperação*. O subsistema de entrada é o responsável pela digitalização de mapas, leitura de fitas e dados tabulares, bem como pela validação destes dados. O subsistema de recuperação realiza as funções de análise, generalização e manipulação, e inclui a saída da informação na forma de mapas e relatórios.

Para que o usuário possa realizar análises sobre as entidades geográficas, os SGIs usuais dispõem das seguintes capacidades de manipulação:

- BUSCA: habilidade de achar elementos que satisfaçam certas propriedades geométricas desejadas (tamanho, distância, etc.).
- MEDIDA DE ÁREA.
- ESTATÍSTICAS: médias, desvios, etc.
- MAPEAMENTO COMPOSTO: capacidade de sobrepor dados de dois ou mais mapas e gerar um mapa composto.

No caso específico do INPE, o interesse na área de SGI advém da experiência anterior no processamento e reconhecimento de imagens de satélite, principalmente os da série LANDSAT. A grande vantagem do uso de dados LANDSAT está na possibilidade de obter rapidamente informações atualizadas sobre as áreas de interesse, já no formato digital.

Este trabalho descreve o projeto de um SGI - o SGINPE - que permite combinar imagens de satélite com outros tipos de dados, tais como mapas e tabelas. Tendo em vista a natureza específica das imagens LANDSAT, a codificação escolhida foi o armazenamento por *varredura*: o formato dos dados é o equivalente computacional de uma fotografia, com o valor de cada ponto representando uma variável física (topografia) ou simbólica (cultura agrícola).

O suporte lógico em desenvolvimento para o SGINPE consiste em cinco módulos: *interação* com o usuário (análise crítica das requisições), *entrada* (conversão de formato e registro dos dados de entrada), *manipulação* (procedimentos de análise), *saída* (comunicação externa dos resultados) e *gerenciamento* (acesso à base de dados). A base de dados consiste em uma *imagem* com muitos canais (alguns numéricos e outros simbólicos), tabelas com informações referentes aos canais, e histogramas uni e bidimensionais. Os resultados das operações poderão ser outros canais ou histogramas.

O suporte físico para o sistema SGINPE consiste em um computador PDP 11/45, com 112 "K bytes" de memória principal e 88 "M bytes" de memória em disco; um digitalizador ótico de varredura ("scanner"), da GE Company, com resolução de 525 linhas x 525 pontos; um visualizador IMAGE-100, da GE Company, com 512 linhas x 512 pontos x 5 canais; e um terminal gráfico 4092 da Tectronics.

O sistema será utilizado por pesquisadores da área de Sensoriamento Remoto, para análises geológicas, geográficas e agrônomicas. Seu desempenho nestas aplicações indicará as áreas críticas onde melhorias são necessárias.

1 - INTRODUÇÃO: A IMPORTÂNCIA E UTILIDADE DE SISTEMAS GEOGRÁFICOS DE INFORMAÇÃO.

Um sistema Geográfico de Informação (SGI) é um conjunto de procedimentos computacionais que permitem combinar, analisar, armazenar e disseminar informações sobre dados codificados de maneira espacial, também chamados dados *geocodificados*.

A capacidade de ter acesso a informações baseadas em localizações geográficas é bastante vantajosa, pois muitos dados são coletados em termos de localizações específicas. A recuperação fica simplificada, pois o usuário tem a opção de especificar as fronteiras geográficas que delimitam a região de interesse. Por exemplo, uma pessoa que estude problemas de erosão em um rio poderia definir os limites de sua bacia e requisitar toda a informação pertinente àquela área (precipitação, cobertura vegetal, tipo de solo, etc). Além disso, os dados podem ser mostrados na forma de mapas, o que ilustra visualmente a comparação entre os diversos fenômenos.

Não obstante as diferenças, os diversos SGIs tem, usualmente, características em comum. Entre estas merecem ser citadas:

- 1) O núcleo de um SGI é um *banco de dados pictóricos*, coleção de dados bidimensionais codificada em diversos formatos.
- 2) Na maioria dos SGIs conhecidos na literatura, é necessário promover a integração entre dados provenientes de diversas fontes, tais como resultados de censo, mapas topográficos, geológicos e geofísicos e imagens de satélite. Deve ser possível a localização inequívoca de um determinado ponto na base de dados do sistema.
- 3) Os procedimentos de extração de informação devem tornar factível a combinação de quaisquer subconjuntos dos dados existentes, bem como a utilização de métodos matemáticos e estatísticos como auxílio para a análise de dados referenciados espacialmente.

A utilização de computadores para processamento de dados geográficos é fenômeno relativamente recente; os primeiros SGIs datam de meados da década de 69 e a maioria dos sistemas encontrados na literatura, da década de 70. Para um artigo de caráter tutorial, deve-se consultar Nagy e Wagle (1979); um recente número da revista "COMPUTER" foi inteiramente dedicado ao assunto (IEEE, 1981). Também merecem ser citados os livros de Blaser (1980) e Freeman e Pieroni (1980). Para que se tenha uma idéia do escopo dos SGIs, a Tabela 1 lista alguns dos sistemas mais conhecidos. A extensão, ou área coberta por tais sistemas, varia desde o âmbito municipal até o nacional. Sistemas municipais são utilizados principalmente para planejamento e administração local; sistemas regionais têm como aplicações mais usuais o inventário e a análise de recursos naturais.

TABELA 1

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE SGI

SISTEMA	ÁREA	OPERADOR	
ECS	Cartografia Militar	Agem. Mapeam., Dep.Defesa	EUA
CGIS	Planejamento Regional	Deptº Meio Ambiente	CANADÁ
DIME	Demografia	Bureau do Censo	EUA
WRIS	Gerência de Rec.Naturais	Deptº de Floresta	EUA
IBIS	Sensoriamento Remoto	Lab.de Propulsão a Jato	EUA
GADS	Planejamento Regional	IBM, San Jose	EUA
STANDARD	Hidrologia	Deptº Geologia	EUA

A quantidade de dados envolvida varia, naturalmente, de acordo com a extensão e a aplicação desejadas. No entanto, mesmo para regiões pequenas o volume de dados é elevado; numa aplicação em planejamento regional, realizada pela Universidade de Purdue (EUA) para o governo da Bolívia (Adrien, 1982), foi analisada uma extensão de 1500 km² no Departamento de Ururo, e o total de dados requerido foi de aproximadamente 900 M Bytes.

No caso específico do INPE, o interesse na área de SGI advém da experiência anterior no processamento e reconhecimento de imagens de satélite. Como se sabe, o INPE é o responsável nacional pela recepção e disseminação das fotografias e imagens digitais geradas pelos satélites da série LANDSAT. Além disso, o INPE possui um Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais, apropriado para o processamento digital de imagens. A capacidade de obtenção de dados dos satélites da série LANDSAT foi recentemente aumentada com o lançamento do satélite LANDSAT-D, que utiliza o sensor TM (Mapeador Temático), que conta com 7 bandas e resolução de 30 metros no solo.

A grande vantagem do uso de dados LANDSAT está na possibilidade de obter rapidamente informações sobre áreas de interesse. Deste modo, o objetivo do desenvolvimento de um SGI no INPE é fornecer como produto final um sistema computacional que permita a interação entre dados de sensores remotos - de aquisição rápida e barata - mapas geográficos e dados tabulares. Tal sistema é um útil complemento aos diversos sistemas de processamento e reconhecimento de imagens já existentes na Instituição.

2 - CARACTERÍSTICAS DE SGI

De uma maneira geral, todo SGI pode ser dividido em dois grandes subsistemas: o subsistema de *entrada* e o subsistema de *recuperação*. O subsistema de entrada é responsável por toda a parte de digitalização de mapas, leitura de fitas e dados tabulares, bem como pela validação e integração destes dados. O subsistema de recuperação rea

liza as funções de análise, generalização e manipulação, e inclui a saída da informação na forma de mapas e relatórios. O esquema geral para um SGI está mostrado na Figura 1.

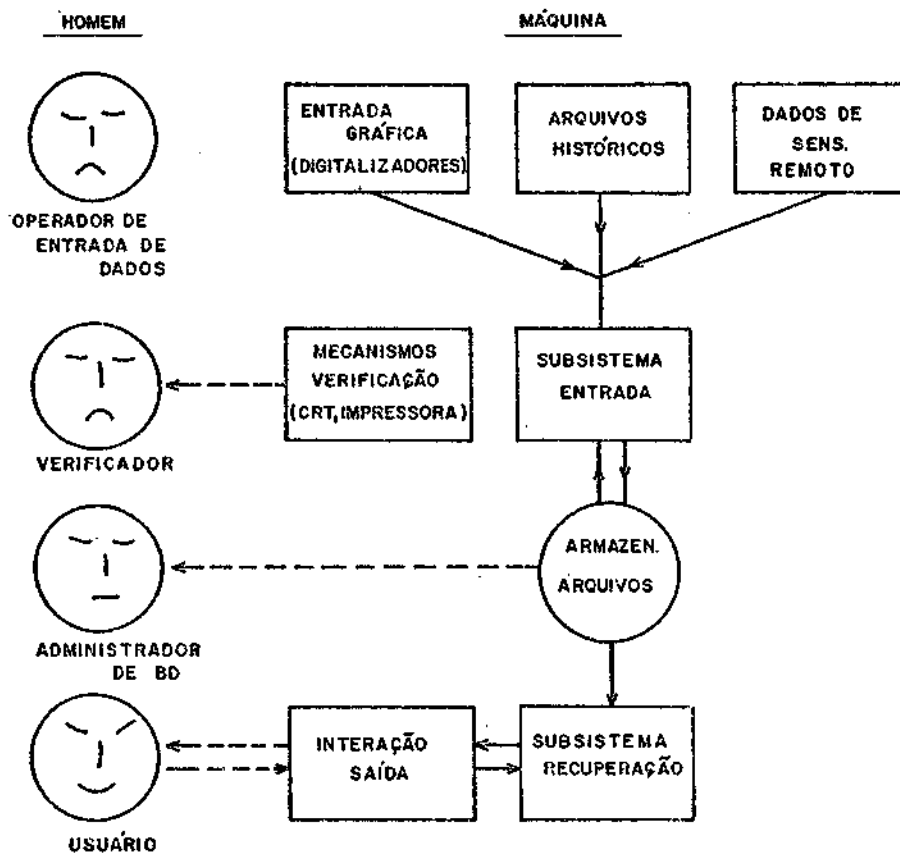


Fig. 1 - Esquema Geral de um SGI

2.1 - SUBSISTEMA DE ENTRADA

A parte mais custosa e sensível a erros de um SGI é o subsistema de entrada. Entre os dispositivos utilizados devem ser citados: *mesas digitalizadoras* - onde o operador traça curvas ou seleciona pontos individuais em um desenho ou fotografia, que podem variar em tamanhos desde tabletes de 30x30 cm até mesas de 100 cm x 150 cm utilizadas em Cartografia Militar; e *digitalizadores óticos de varredura* ("scanners"), que convertem diretamente o material gráfico em formato legível por computador, os quais variam entre a resolução de 400 linhas x 400 pontos para um "scanner" do tipo câmara de TV, até 20000 linhas x 20000 pontos para "scanners" de tambor com alta precisão.

2.2 - SUBSISTEMA DE RECUPERAÇÃO

As operações de manipulação e análise de dados devem levar em conta as relações entre as entidades geográficas; estas podem ser divididas entre os atributos dos tipos *geométrico* e *não-geométrico*. Os atributos geométricos especificam a localização e forma das entidades; os atributos não-geométricos podem fornecer informação *nominal* ("rio", "Fortaleza", "soja") ou *escalar* (elevação, pedologia, reflectância). Nagy e Wagle (1979) reconhecem seis tipos de relações entre as entidades geométricas: relações ponto-ponto, ponto-linha, linha-linha, linha-região, ponto-região e região-região.

Para que o usuário possa realizar análises sobre as entidades geográficas descritas, os SGIs usuais dispõem das seguintes capacidades de manipulação:

- BUSCA: Habilidade de achar elementos que são de tamanho desejado, ou que se encontram a determinada distância de outra entidade ("Quantos locais com potencial ecológico estão próximos de um gasoduto?")

- MEDIDAS DE ÁREA: "Quantos hectares de plantações de arroz existem no Vale do Paraíba?"
- ESTATÍSTICAS: "Qual o número médio de habitantes por bairro em São José dos Campos?"
- MAPEAMENTO COMPOSTO: Capacidade de sobrepor dados de dois ou mais mapas e gerar um mapa composto. ("Quais as áreas que têm alta concentração de minério de ferro, não têm grandes unidades agrícolas produtivas e possuem sistema de escoamento adequado?")

2.3 - ESTRUTURAS DE DADOS UTILIZADAS

Existem três abordagens gerais para a organização interna dos dados em um SGI: organização *celular*, organização por *polígonos* e organização por *varredura* ("raster"), conforme indicado na Figura 2. Na ordem celular, todas as variáveis referentes a um particular elemento (celas) do sistema são codificadas conjuntamente; tais sistemas são pouco flexíveis e têm alto custo de entrada e manutenção dos dados.

Como resposta às desvantagens de sistemas celulares, a maior parte dos SGI existentes faz uso da organização *poligonal*: as entidades geográficas são descritas por uma lista de suas coordenadas, e a informação correspondente a uma só entidade antecede um registro de identificação. Tal estrutura de dados permite rápida entrada via mesa digitalizadora e facilidade para armazenamento e construção de tabelas. Entre os problemas inerentes a tais estruturas estão o alto custo computacional para editar e atualizar os dados e as dificuldades de desenvolvimento dos algoritmos para extração de informação.

Na organização por *varredura*, o formato dos dados é o equivalente computacional de uma fotografia, com o valor de cada ponto representando uma variável física (topografia) ou simbólica (cul

tura). Sua utilização decorre de dois fatores: a crescente quantidade de dados neste formato - tais como imagens de satélite e saída de digitalizadores óticos - e a facilidade de desenvolvimento de algoritmos de manipulação. Tal estrutura, no entanto, não é eficiente em termos de armazenamento.

A escolha do tipo de estrutura de armazenamento deve levar em conta diversos fatores; entre estes devem ser citados o tamanho da menor unidade geográfica e o volume de dados utilizado. Os sistemas de organização poligonal necessitam de algoritmos eficientes, que lançam mão das teorias de *geometria computacional*. Muitos dos sistemas de organização por varredura trabalham com imagens de satélite, e necessitam da área de *processamento digital de imagens*.

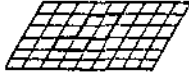
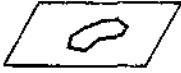

MÉTODO	CONSIDERAÇÃO DE CUSTO	FLEXIBILIDADE
<p>CELAS</p> 	OPERADO MANUALMENTE	BAIXA RESOLUÇÃO ESPACIAL DIFÍCIL ATUALIZAÇÃO
<p>POLÍGONOS</p> 	CARO PARA GRANDES CONJUNTOS DE DADOS	BOM APROVEITAMENTO DE ESPAÇO DIFÍCIL DESENV. DE ALGORITMOS
<p>VARREDURAS</p> 	REQUER TECNOLOGIA DE PROC. DE IMAGENS	MAU APROVEITAMENTO DE ESPAÇO FÁCIL DESENV. DE ALGORITMOS

Fig. 2 - Abordagens para geocodificação

2.4 - USO DE SGI PARA APLICAÇÕES EM SENSORIAMENTO REMOTO

O aproveitamento de imagens de satélites de sensoriamento remoto (e.g. LANDSAT) como elementos de uma base de dados geográfica que contenha outros tipos de informação é uma abordagem recente na construção de SGIs. O primeiro sistema a fazer uso desta combinação foi o sistema IBIS ("Image-Based Information System"), construído no Laboratório de Propulsão a Jato do Instituto de Tecnologia da Califórnia (CALTECH) em meados da década de 1970 (Bryant and Zolbrist, 1977). A organização do sistema IBIS é por varredura e usa técnicas de processamento digital de imagens para fazer a junção entre imagens LANDSAT, mapas digitalizados em dispositivos de varredura ("scanners") e polígonos transformados para imagens.

3 - PROJETO SGINPE: SUPORTE LÓGICO PARA UM SISTEMA GEOGRÁFICO DE INFORMAÇÃO

Baseado nas considerações anteriores, o projeto SGINPE (Sistema Geográfico de Informação para o INPE) objetiva construir um SGI que permita combinar imagens de satélite, mapas e tabelas. Neste sentido, o SGI complementa os procedimentos usuais de um Sistema de Tratamento de Imagens (pré-processamento, realce e classificação de imagens). Tendo em vista a natureza das imagens de satélite, a codificação escolhida foi o armazenamento por *varredura*: neste caso, a *base de dados geocodificados* consiste em uma *imagem* com muitos canais, *tabelas* e *histogramas*.

A imagem pode ser definida como um conjunto ordenado de matrizes bidimensionais; cada matriz é chamada *banda* ou *canal*, e o número de bits varia de banda para banda. Tal definição difere da usual, onde o número de bits/banda é fixo; num SGI, contudo, como as bandas não são homogêneas, a extensão do conceito de imagem se faz necessária para um melhor aproveitamento de espaço. Deve-se acrescentar ainda que no SGINPE existem - numa mesma imagem - bandas *diretas* e *indiretas*: uma banda indireta tem suas informações como entrada de índice

para uma tabela. Além disso, as bandas podem ser *simbólicas* (bandas cujos valores são índices para uma determinada categorização) ou *numéricas* (bandas cujos valores - para cada elemento - correspondem a intensidades de valores de cinza). Toda banda simbólica é indireta; algumas das bandas numéricas podem ser indiretas como, por exemplo, dados de censo.

As tabelas correspondem a descrições de bandas simbólicas ou bandas numéricas indiretas e têm formato padronizado; o mesmo se aplica ao caso de histogramas bidimensionais, gerados por operações em imagens.

3.1 - ESTRUTURA DO SUPORTE LÓGICO

O suporte lógico para o sistema SGINPE consiste em cinco módulos, conforme mostrado na Figura 3: Interação com o usuário, Entrada, Manipulação, Saída e Gerenciamento.

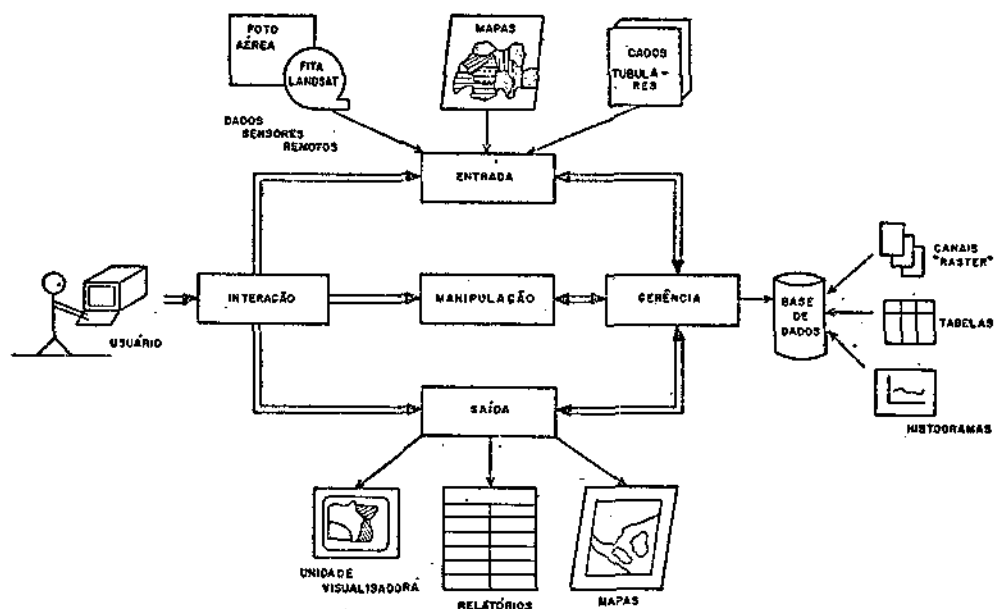


Fig. 3 - Estrutura do Suporte Lógico para o SGINPE.

O módulo de *interação* é responsável pela análise das requisições do usuário, transformando-as em procedimentos executáveis pelos demais módulos. Tal módulo também tem acesso aos diretórios do sistema, para responder eventuais questões do usuário sobre a base de dados. A linguagem de interação permite crítica das requisições do usuário e pede parâmetros que não foram declarados; a adição de novos procedimentos em qualquer dos módulos é possível com um mínimo de alterações.

Os procedimentos de *entrada* incorporam as funções de criação e definição da base de dados, conversão de formato, mudança de escala, correção geométrica e registro (superposição) de mapas com imagens. Os dados de entrada podem estar tanto no formato *vetorial* como na forma de varredura. A correção geométrica pode ser feita com dados na forma vetorial: ao final, é feita a conversão para o formato de varredura.

As operações de *manipulação* representam os procedimentos necessários para que se possa analisar a informação da base de dados; tais procedimentos incluem: *operações lógicas* entre polígonos (intersecção, união, etc.); *pertinência* de um ponto a um polígono; cálculo de *perímetro*, *área* e *centróide* de polígonos e algoritmos de *agre*gação. Os produtos das operações podem ser novos canais, tabelas ou histogramas.

O módulo de *saída* é o meio de comunicação externa dos resultados dos procedimentos de manipulação. Entre as formas de saída merecem ser citadas: *impressão* de canais da imagem ou histogramas bidimensionais; mapas coloridos na *tela* da unidade visualizadora e relatórios com tabulações de interesse.

O responsável pelo armazenamento e acesso à base de dados é o módulo de *gerenciamento*. Sua existência visa a facilitar a implementação do módulo de manipulação. As rotinas de gerenciamento in

cluem leitura/escrita na base e criação/destruição de objetos na base de dados.

3.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO

O sistema SGINPE está sendo implementado no LTID (Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais) do INPE. O suporte lógico ("hardware") consiste em:

- um computador PDP 11/45, com 122 "K bytes" de memória principal;
- uma unidade de disco magnético RP-04 (removível), com 88 "M bytes" de capacidade;
- 2 unidades de fita magnética, de 800 ou 1600 bpi;
- 1 digitalizador ótico de varredura ("scanner"), do tipo câmara de TV, com resolução de 525 linhas x 525 pontos (GE Company);
- 1 visualizador IMAGE-100, da GE Company, com memória de imagem de tamanho 512 x 512 "bytes" x 5 canais, e cursor;
- impressora e terminais da DEC, com um terminal gráfico 4092 da Tektronics.

As imagens de satélite são lidas via fita magnética, e os mapas são digitalizados pelo "scanner" diretamente na tela do visualizador. A seguir, o usuário delimita, na tela, as regiões nos mapas digitalizados e atribui os rótulos. Estas informações são então guardadas na base de dados do sistema.

4 - CONCLUSÕES

Foi apresentado um projeto para um Sistema Geográfico de Informação que faz uso de imagens de satélite. O projeto SGINPE apresenta uma primeira abordagem ao problema de implementação de um

SIG, que será utilizado por pesquisadores da área de sensoriamento remoto para análises geológicas, agronômicas e geográficas. O desempenho do sistema nestas aplicações indicará as áreas críticas, onde melhorias deverão ser introduzidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIEN, P.M. Geographic information systems in Bolivia: a case study for Latin America. *National Conference of Energy Resource Management*, Baltimore, MD, 1982.
- BLASER, A. ed. *Data base techniques for pictorial applications*. Berlin, Springer-Verlag, 1980.
- BRYANT, N.; ZOLBRIST, A. IBIS: A geographic information system based on digital image processing and image raster data type. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, 15(3):152-59, July 1977.
- IEEE COMPUTER MAGAZINE. New York, v.14, nº 11, Nov. 1981. Special issue on Pictorial Information Systems.
- FREEMAN, H.; PIERONI, G. eds. *Map data Processing*. New York, Academic, 1980.
- NAGY, G.; WAGLE, S. Geographic data processing. *ACM Computing Surveys*, 11(2):139-1818, June 1979.