

ARQUITETURA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Clodoveu Davis
Gilberto Câmara

3.1 DESCRIÇÃO GERAL

O termo *Sistemas de Informação Geográfica* (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, interrelacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum -- a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar *georreferenciados*, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.

O requisito de armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos representa uma *dualidade* básica para SIGs. Para cada objeto geográfico, o SIG necessita armazenar seus atributos e as várias representações gráficas associadas. Devido a sua ampla gama de aplicações, que inclui temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia), há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG:

- como ferramenta para produção de mapas;
- como suporte para análise espacial de fenômenos;
- como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Estas três visões do SIG são antes convergentes que conflitantes e refletem a importância relativa do tratamento da informação geográfica dentro de uma instituição. Para esclarecer ainda mais o assunto, apresentam-se a seguir algumas definições de SIG:

“Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados” (Aronoff, 1989);

“Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (Burrough, 1986);

“Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (Cowen, 1988);

“Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais” (Smith et al., 1987).

Estas definições de SIG refletem, cada uma à sua maneira, a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. A partir destes conceitos, é possível indicar as principais características de SIGs:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

3.2 ESTRUTURA GERAL DE UM SIG

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

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e 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 processamento de dados espaciais (*entrada, edição, análise, visualização e saída*). 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.

De uma forma geral, as funções de processamento de um SIG operam sobre dados em uma *área de trabalho* em memória principal. A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento do SIG é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados. Exemplos ilustrativos de modos de seleção de dados são:

- "Recupere os dados relativos à carta de Guajará-Mirim " (*restrição por definição de região de interesse*);
- "Recupere as cidades do Estado de São Paulo com população entre 100.000 e 500.000 habitantes" (*consulta por atributos não-espaciais*).
- "Mostre os postos de saúde num raio de 5 km do hospital municipal de S.J.Campos" (*consulta com restrições espaciais*).

A Figura 1.1 indica o relacionamento dos principais componentes ou subsistemas de um SIG. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes num SIG.

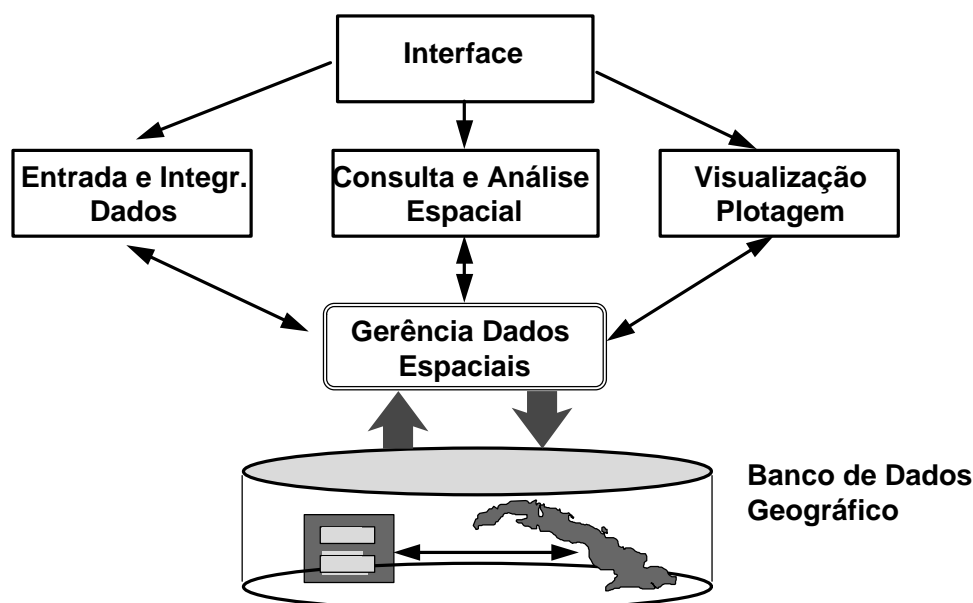


Figura 3.1 - Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica

Neste capítulo, apresentamos uma descrição detalhada dos componentes de um SIG, detalhando sua estrutura geral. Na seção 3.2, apresentamos as diferentes alternativas de implementação da arquitetura de um SIG. Na seção 3.3, detalhamos as funções disponíveis, e na seção 3.4, apresentamos uma descrição das principais alternativas disponíveis no mercado, no final da década de 90.

3.3 ARQUITETURA INTERNA

Os GIS de mercado funcionam segundo uma variedade de arquiteturas internas. Uma análise das diferentes arquiteturas de GIS pode indicar a existência de pontos fortes ou fracos em cada sistema, que têm influência decisiva em aspectos como o desempenho, a capacidade de gerenciamento de grandes bases de dados, a capacidade de utilização simultânea por múltiplos usuários e a capacidade de integração com outros sistemas.

Nesta seção, desenvolvemos uma visão do esquema de funcionamento interno dos diferentes SIGs, ao identificar cada módulo do software, verificar sua função, avaliar sua eficiência individual e de seu relacionamento com os demais componentes.

Nosso objetivo não é o de quantificar ou de relacionar as diferenças entre os SIG no que diz respeito à *qualidade* da implementação de seus módulos ou componentes, e sim o de analisar as *diferenças conceituais* expressas na maneira como cada um deles se organiza, muitas vezes refletindo sua evolução como produto ao longo dos anos, e as alternativas de implementação disponíveis à época de sua primeira concepção. Em seguida, cabe uma análise a respeito de como estas alternativas poderão afetar os aspectos mais importantes do software do ponto de vista do usuário, em particular eficiência, segurança, consistência de dados, e capacidade de integração com outros softwares.

Com algumas alterações, ou maior detalhamento, praticamente qualquer software comercial hoje existente cairá em uma das seguintes alternativas:

- SIG Tradicional
- Arquitetura Dual
- SIG baseado em CAD
- SIG relacional
- SIG orientado a objetos
- *Desktop mapping*
- SIG baseado em imagens
- SIG integrado (imagens-vetores)

Observe-se que as cinco primeiras categorias referem-se especificamente a SIG baseado em vetores. Isto deve-se ao fato de que existem muitas variações para a filosofia básica de armazenamento e utilização de vetores, o que é refletido com clareza nos SIG

das primeiras categorias, enquanto o gerenciamento e processamento de imagens é mais uniforme entre as diversas aplicações comerciais existentes.

Deve-se destacar que, com o passar do tempo e com o crescimento do nível de complexidade dos SIG comerciais, esta categorização está perdendo gradualmente a nitidez. Um exemplo típico deste fenômeno é a crescente incorporação de recursos e funções a sistemas *desktop mapping*, tornando-os mais poderosos, e aproximando-os do que seria denominado “*desktop SIG*”. De qualquer forma, quando aplicável, serão feitas as observações devidas com relação aos produtos comerciais mais utilizados no Brasil.

Em seguida, serão apresentadas duas linhas de desenvolvimento que vem sendo perseguidas pela academia e pela indústria nos últimos tempos. A primeira delas é a que tenta viabilizar o uso de recursos de geoprocessamento através da Internet. Isto vem sendo feito de várias maneiras, e ainda não existe um consenso ou um enfoque vitorioso. A segunda é o investimento em padrões, buscando delinear uma arquitetura básica para SIG *interoperáveis*.

3.3.1 SIG Tradicional

A Figura 3.2 apresenta um diagrama de blocos que representa a arquitetura interna dos SIG mais tradicionais. Por “tradicional” entenda-se que se trata da arquitetura dos primeiros SIG, concebidos em uma época em que a novidade estava na integração de dados gráficos a dados alfanuméricos em um único ambiente. Neste tipo de sistema, o usuário pode acessar os dados geográficos através de uma interface gráfica (*Graphical User Interface*, GUI) ou através de uma linguagem de programação. Esta linguagem de programação é em geral muito simples, consistindo apenas de macro-comandos, ou seja, na possibilidade de encadeamento de comandos encontrados na interface gráfica de qualquer maneira. Assim, a linguagem de programação pode funcionar também como uma interface do tipo linha de comando, em que o usuário pode digitar comandos interativamente. Existe também a possibilidade de personalização da GUI, de modo a incluir macro-comandos ou seqüências de comandos desenvolvidos pelo usuário.

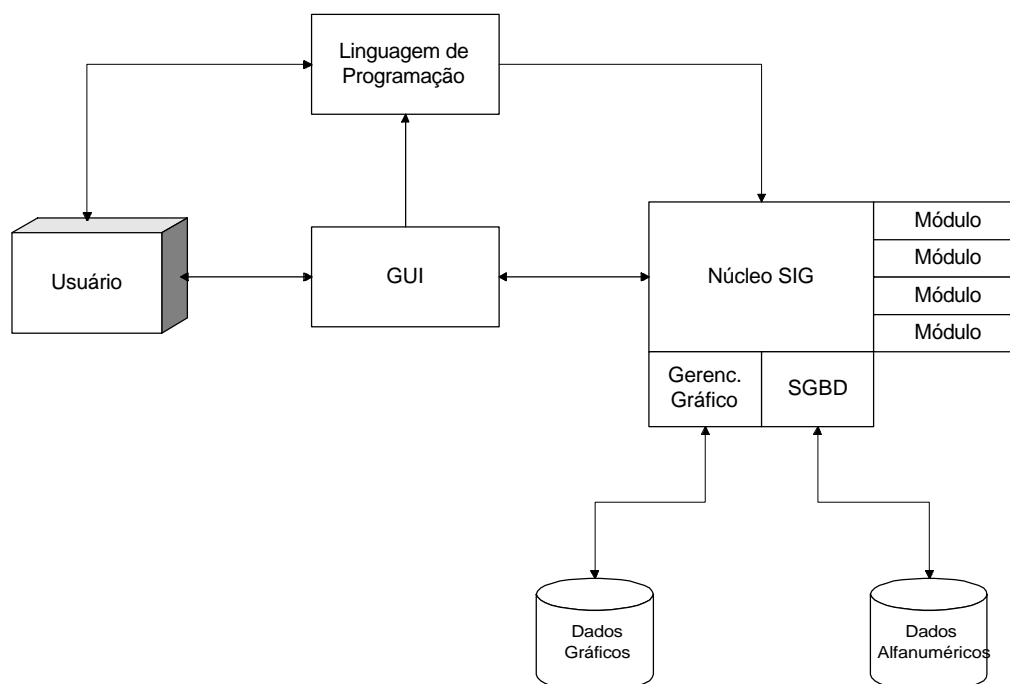


Figura 3.2 - SIG tradicional

Os comandos formulados via GUI ou via linguagem são executados pelo *núcleo* (*kernel*) do software, responsável tanto pelo processamento das funções geográficas quanto pelo gerenciamento dos dados. Este núcleo pode ser implementado de forma monolítica, contendo todas as funções do SIG. No entanto, é mais comum, até por motivos comerciais, encontrar implementações em que as funções são divididas em módulos, cabendo ao núcleo implementar a funcionalidade básica e o gerenciamento dos dados. Estes módulos podem ser comercializados separadamente, permitindo que o usuário configure seu ambiente com custos mais reduzidos. Por exemplo, podem existir módulos para edição gráfica/topológica, acabamento final e plotagem de mapas, processamento de redes, modelagem digital do terreno, gerenciamento de imagens e outros. Um usuário com dez postos de trabalho pode optar por ter recursos de edição em apenas cinco deles, tendo recursos de plotagem em todos, de modelagem do terreno em apenas um, e dispensando o uso de imagens.

Mas o principal aspecto desta arquitetura está na forma de gerenciamento dos dados gráficos e alfanuméricos. A opção implementada pelos desenvolvedores inclui a codificação dos dados gráficos em estruturas proprietárias, ou seja, estruturas de dados concebidas e implementadas dentro do ambiente do desenvolvedor e tratadas como segredo comercial. Assim, os dados gráficos são codificados em arquivos binários, cuja

leitura e correta interpretação só pode ser feita por quem conheça a estrutura de codificação, e este conhecimento está restrito aos técnicos do próprio desenvolvedor.

A codificação dos dados alfanuméricos segue a mesma lógica, embora aqui não haja a preocupação com a ocultação da forma de armazenamento. É em geral adotada uma estrutura tabular, semelhante à dos SGBD relacionais, com registros de tamanho fixo. Somente é necessário conhecer a estrutura dos dados alfanuméricos (quantidade de campos, tipo de conteúdo e largura de cada um deles) para que se consiga interpretar corretamente o conteúdo dos arquivos. O tratamento dos dados alfanuméricos pode ser feito em um ambiente proprietário de gerenciamento de bancos de dados, sendo este ambiente totalmente integrado ao produto, e não tendo vida própria fora dele. Este SGBD é em geral muito simples, não preenchendo os requisitos básicos dos SGBD relacionais padrão.

Resumo das características principais:

- Gerenciamento em separado de gráficos e alfanuméricos
- Armazenamento de gráficos em estruturas proprietárias
- Armazenamento de dados alfanuméricos em banco de dados geralmente proprietário, integrado ao produto (nem sempre relacional)

Exemplos: ARC/INFO (básico)

3.3.2 Arquitetura Dual

A arquitetura apresentada no item anterior evoluiu para a apresentada na Figura 3.3. A única diferença está na adoção de um SGBD relacional completo para gerenciar os dados alfanuméricos. Esta opção reflete principalmente uma intenção de não “reinventar a roda”, utilizando produtos disponíveis no mercado para realizar parte das tarefas do SIG. Na implementação pouco muda conceitualmente, sendo que a tarefa de desenvolver o núcleo fica bastante facilitada. Observe-se que o SIG e o SGBD relacional, sendo produtos diferentes, precisam se comunicar de uma maneira satisfatória para realizar sua função. Esta comunicação é gerenciada pelo núcleo, e é restrita às operações normais de bancos de dados: inserção de dados, exclusão, consultas.

Do ponto de vista do usuário, esta alternativa abre a possibilidade de se ter aplicações convencionais, concebidas e desenvolvidas dentro do ambiente do SGBD relacional, compartilhando os atributos alfanuméricos dos objetos geográficos. O problema é que, como o SGBD relacional não conhece a estrutura gráfica proprietária, existe o sério risco de se introduzir inconsistências no banco de dados geográfico. Imagine-se, por exemplo, que um usuário de aplicação exclusivamente alfanumérica

possa excluir um registro alfanumérico, mas que compõe um conjunto de atributos para uma determinada entidade geográfica. Sem que o SIG saiba, esta entidade geográfica passa a não ter mais atributos, tornando-se inconsistente. Assim, o acesso a atributos alfanuméricos de dados geográficos só pode ser feito de maneira criteriosa, dentro de controles rígidos que precisam ser implementados pela aplicação, uma vez que o software básico (SIG e SGBD relacional) não oferecem qualquer recurso para a garantia automática da integridade dos dados. Observe-se que este tipo de problema poderia ocorrer no caso anterior também, mas como o acesso aos dados gráficos e alfanuméricos somente é feito através do SIG, tem-se um ambiente mais controlado.

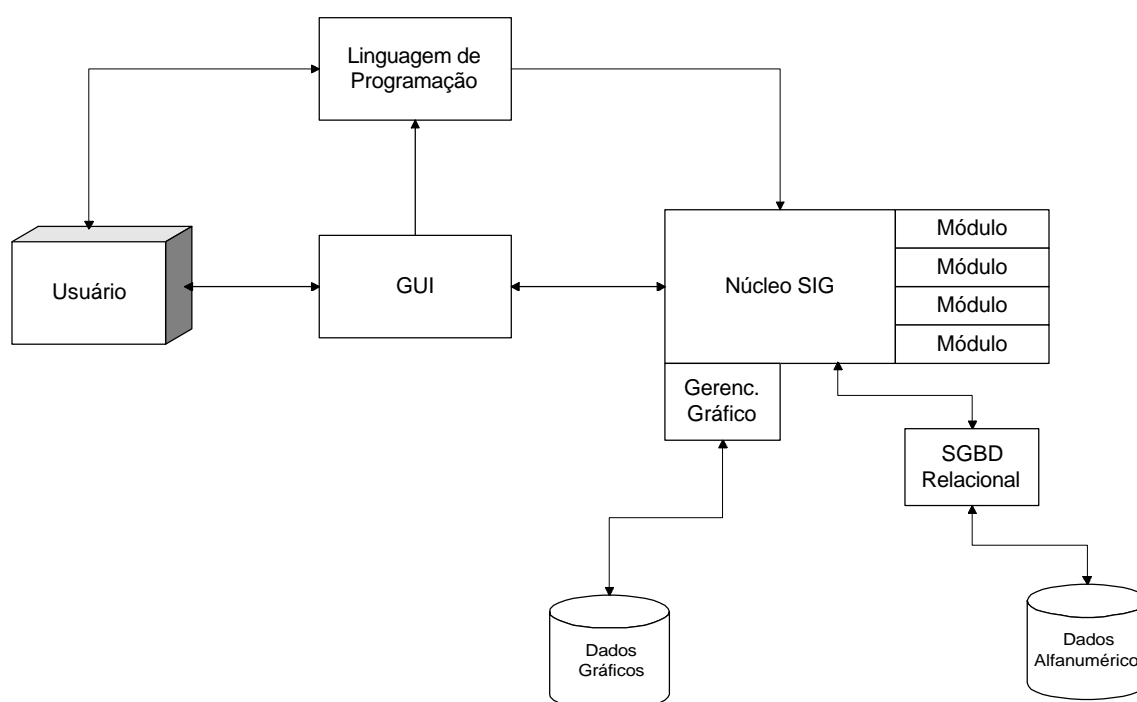


Figura 3.3 - Arquitetura Dual

Resumo das características principais:

- Semelhante ao anterior, porém com o uso de um gerenciador de bancos de dados alfanuméricos externo, tipicamente relacional, padrão de mercado

Exemplos: Genasys.

3.3.3 SIG Baseado em CAD

Uma extensão lógica do raciocínio que levou ao armazenamento de dados alfanuméricos em SGBD relacionais padrão de mercado seria a implementação do gerenciamento dos dados gráficos através de ferramentas também padrão de mercado. No caso, as ferramentas gráficas que melhor se adaptam às necessidades do SIG são os sistemas CAD (*Computer Aided Design*). Estas ferramentas tem seu uso bastante consolidado nas áreas de engenharia, arquitetura e semelhantes, e são naturais candidatas a ambientes de produção cartográfica. Como no caso anterior, ficou nítido para alguns desenvolvedores de SIG que a reimplementação das funções, típicas de sistemas CAD, de edição gráfica e de gerenciamento de arquivos gráficos seria “reinventar a roda”. Leve-se ainda em consideração o estágio de desenvolvimento dos sistemas CAD, já extremamente evoluídos e confiáveis.

Assim, tem-se a arquitetura apresentada na Figura 3.4, em que o núcleo do SIG trata principalmente da integração entre um gerenciador gráfico (CAD) e um gerenciador alfanumérico (SGBDR), além de implementar e tornar disponíveis funções geográficas básicas. Funções geográficas mais específicas são oferecidas em um esquema de módulos, como nos casos anteriores. O sistema dispõe de uma interface gráfica, em geral baseada na do CAD, buscando tornar o sistema mais familiar para aqueles usuários que já tivessem experiência com o CAD. Omitiu-se aqui, propositadamente, a referência a uma linguagem de programação. Embora os principais sistemas CAD disponham de linguagens de programação razoavelmente completas, estas têm acesso exclusivamente à funcionalidade do CAD. O SIG baseado em CAD terá, no máximo, uma macro-linguagem capaz de formular seqüências de comandos disponíveis no ambiente SIG, mas alguns não dispõem nem mesmo deste recurso.

Esta alternativa de arquitetura tem dois grandes problemas principais. O primeiro, e mais grave, é a grande facilidade que se tem em introduzir inconsistências no banco de dados geográfico, de forma semelhante à relatada no exemplo anterior. Aqui é ainda mais fácil: basta algum usuário ter acesso aos dados gráficos, por exemplo usando diretamente o software CAD para acessar os arquivos gráficos: se alguma entidade gráfica for deletada, o registro alfanumérico correspondente ficará isolado. O registro não será também deletado pelo SGBD relacional, pois o mesmo não tem conhecimento desta operação no CAD. Da mesma maneira, um usuário com acesso ao SGBD relacional pode deletar algum registro associado a um dado gráfico, causando o efeito inverso. Apenas o uso exclusivo dos dados através do núcleo do SIG pode pretender garantir a consistência gráfico-alfa.

O segundo problema com este enfoque está na utilização das estruturas de arquivo do CAD para armazenar os dados gráficos. Os sistemas CAD não dispõem de

recursos de indexação espacial, e sempre acessam seus arquivos de forma sequencial. Assim, têm um desempenho que os impede de ter arquivos muito grandes, uma vez que o custo computacional de acesso a dados organizados sequencialmente é muito alto. Desta forma, o usuário é obrigado a fracionar sua base gráfica em diversos arquivos, e a compor *manualmente* arquivos auxiliares para ajudar no processo de seleção de arquivos para utilização na tela. Trata-se de um custo operacional expressivo, em particular no caso de grandes bases de dados.

O principal ponto positivo dos SIG baseados em CAD está na grande facilidade de utilização dos recursos de edição. Isto faz com que este tipo de sistema seja especialmente adequado para trabalhos de entrada de dados, onde se pode controlar melhor o volume de dados que é manipulado de uma vez.

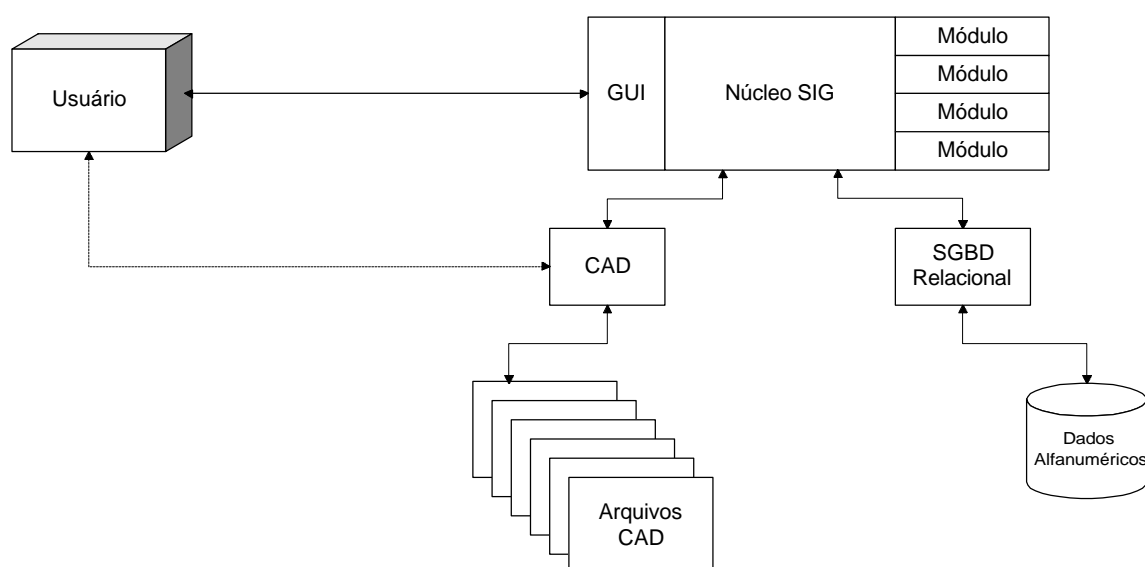


Figura 3.4 - SIG baseado em CAD

Resumo das características principais:

- Gerenciamento de dados gráficos feito por um pacote de CAD, geralmente externo ao SIG
- Gerenciamento de dados alfanuméricos feito por um gerenciador de bancos de dados relacional externo, geralmente padrão de mercado, externo ao SIG
- Possibilidade de manipulação direta dos arquivos gráficos utilizando o sistema CAD “por fora” do SIG

Exemplos: MGE/MicroStation, AutoCAD Map, dBMapa.

3.3.4 SIG Relacional

A combinação de problemas dos casos anteriores, em especial os problemas de gerenciamento de gráficos e as possibilidades de introdução de inconsistências nos bancos de dados geográficos, levaram à concepção de uma nova alternativa. A idéia principal consiste em utilizar os excelentes recursos de garantia de integridade, controle de concorrência (acesso simultâneo por vários usuários) e recuperação de falhas disponíveis nos SGBD relacionais para gerenciar dados geográficos.

Nos SIG relacionais (Figura 3.5), os dados gráficos são organizados em tabelas, de forma semelhante aos dados alfanuméricos. Um sistema de chaves é utilizado para relacionar estas tabelas, formando um esquema relacional cuja integridade é garantida pelo SGBDR. Aliás, esta tarefa é desempenhada com um nível de segurança excelente, tendo em vista o avançado grau de evolução dos SGBDR, aos quais são confiadas missões nos ambientes de aplicações convencionais bem mais críticas que o gerenciamento de dados geográficos.

Desta forma, toda a funcionalidade de gerenciamento de dados fica a cargo do SGBDR. No entanto, para realizar os tipos de consultas e operações mais frequentes no ambiente SIG, algumas extensões precisam ser feitas. A primeira delas refere-se à implementação de recursos de indexação espacial. Isto é feito em geral utilizando esquemas do tipo *quad-tree*, armazenando a associação de cada objeto geográfico com um nó da árvore em uma tabela, e fazendo com que exista uma indexação convencional alternativa baseada nesta associação. Outra extensão importante se refere à linguagem de consulta, que nos SGBD relacionais é a linguagem SQL. É necessário estender o SQL tradicional para incluir operadores geográficos, como “contém”, “contido em”, ou “vizinho a”. Estas extensões são implementadas no núcleo do SIG, que é responsável por traduzí-las em operações previamente existentes no SGBD. Esta tarefa está-se tornando mais fácil, na medida em que alguns desenvolvedores de SGBDR como a Oracle e a Informix estão incorporando facilidades geográficas a seus produtos. Existem ainda sistemas relacionais mais avançados, como o Postgres, que permitem a implementação de novas estruturas de indexação e novos métodos de acesso, o que favorecerá a implementação de SIG relacionais.

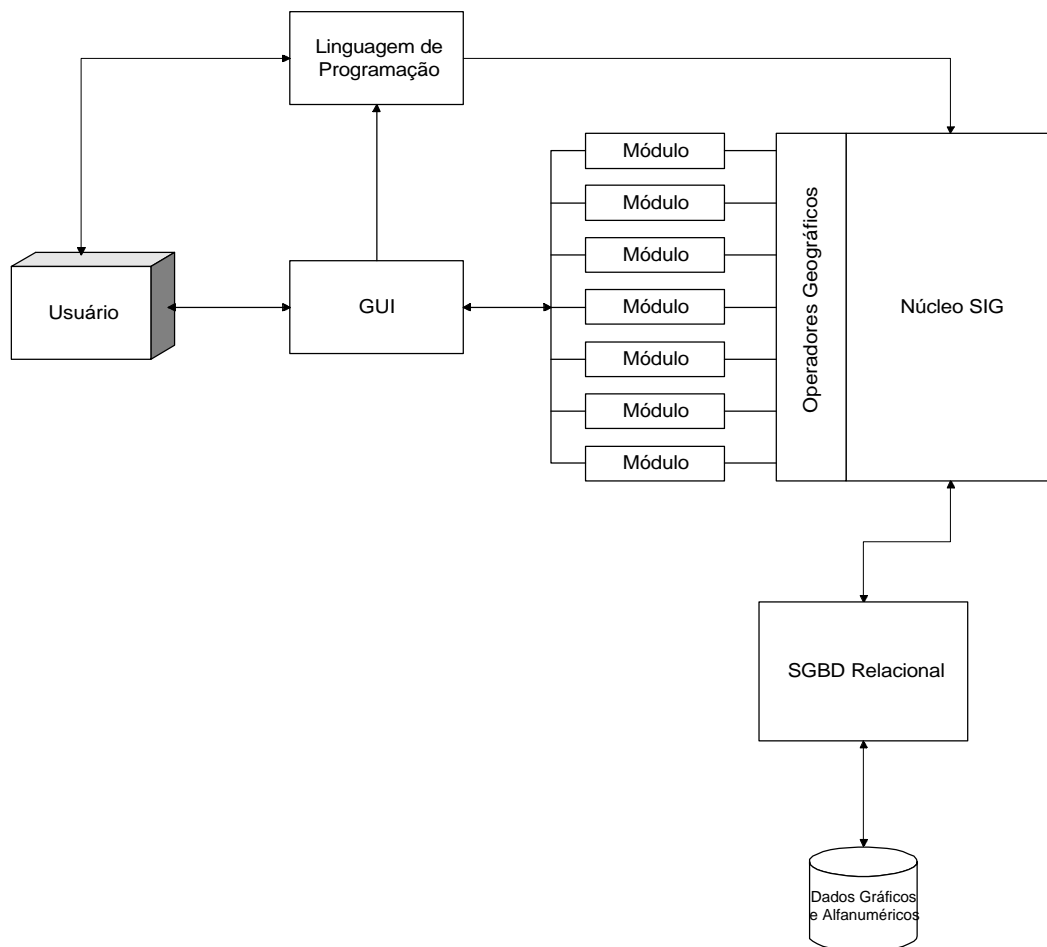


Figura 3.5 - SIG relacional

Resumo das características principais:

- Dados gráficos e alfanuméricos armazenados de forma integrada no banco de dados relacional, externo ao SIG
- Implementação de recursos de geoprocessamento (operadores espaciais, ferramentas de análise, etc.) apoiadas no gerenciador relacional, e apresentadas como extensões ou complementações ao modelo relacional
- Grande robustez de implementação, devido às garantias de integridade do esquema relacional
- Grande estabilidade, devido ao avançado grau de desenvolvimento dos SGBD relacionais

*Exemplos: Vision*GIS*

3.3.5 SIG Orientado a Objetos

Esta alternativa é bastante similar à anterior, porém introduz uma novidade: o armazenamento de dados geográficos utilizando objetos. Esta função é realizada por um SGBD orientado a objetos, que pode ser um produto genérico, de mercado (os mais encontrados são o *O₂* e o *ObjectStore*), ou um gerenciador proprietário. Toda a operação do SIG é baseada em um modelo de dados orientado a objetos, que contém toda a informação sobre cada classe de objetos, incluindo características gráficas, características alfanuméricas e também aspectos do comportamento do objeto (Figura 3.6).

Aproveitando estas características, a implementação do SIG com uma arquitetura cliente-servidor passa a ser mais natural, uma vez que o tráfego entre um “núcleo cliente” e um “núcleo servidor” pode consistir apenas de objetos, que circulam em uma rede. A comunicação entre o servidor e o banco de dados orientado a objetos pode, se não for uma ligação proprietária, ser implementada com base em padrões como o ODTP (*Object Data Transfer Protocol*) ou o CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*). Na prática, no entanto, a preferência ainda é pelas implementações proprietárias, com o núcleo servidor fortemente integrado ao gerenciador orientado a objetos.

Outro ponto de destaque nesta arquitetura é a linguagem de programação. Esta é em geral uma linguagem computacionalmente completa, dotada de todos os recursos necessários para fazer uso da maior riqueza semântica do modelo de dados orientado a objetos. Seria muito difícil utilizar alguma linguagem de consulta como SQL para acessar este tipo de banco de dados, e portanto a disponibilidade de uma linguagem poderosa é muito importante. Esta linguagem também poderá oferecer recursos para a construção ou para a customização da interface gráfica com o usuário, e também poderá ser usada em uma interface de linha de comandos para usuários mais experientes.

Existe a possibilidade de conexão do núcleo cliente a um SGBD relacional externo, desde que este atenda a alguns padrões, viabilizando a integração do SIG com aplicações convencionais externas. Observe-se que novamente é de responsabilidade das aplicações a garantia de integridade entre os dados mantidos pelo SIG, sob a forma de objetos, e os dados mantidos no SGBDR, existindo sempre a possibilidade de quebra de integridade pelo acesso exclusivo ao SIG ou ao SGBDR.

A utilização de conceitos de orientação a objetos nesta arquitetura a torna mais próxima do desejável em termos de sistemas abertos, uma vez que todas as iniciativas no sentido de estabelecer padrões de interoperabilidade em SIG são baseadas na padronização de objetos. No entanto, já foi demonstrado que é possível fazer o mesmo em relação a bancos de dados relacionais.

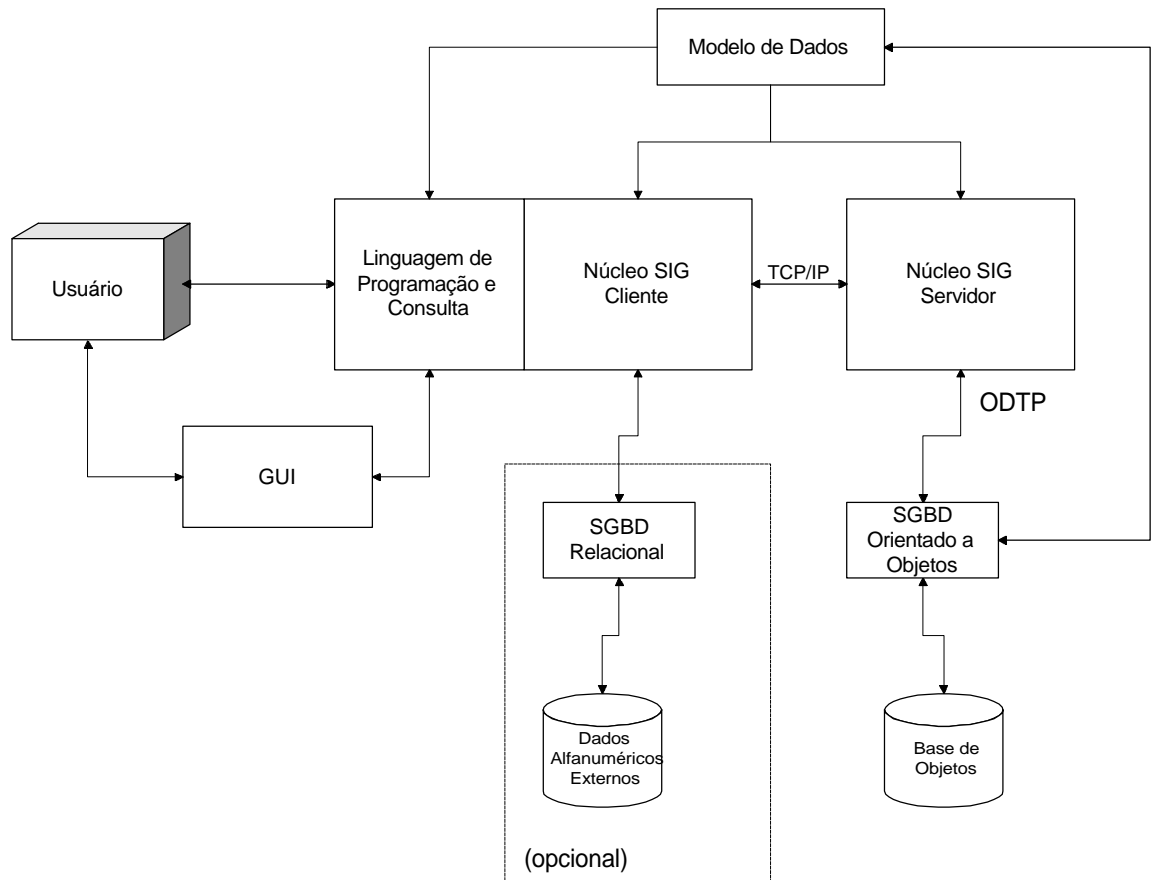


Figura 3.6 - SIG orientado a objetos

Resumo das características principais:

- Presença marcante de módulo de modelagem de dados, que dará personalidade às aplicações
- Possibilidade de conexão com gerenciador de bancos de dados relacional externo, mas a ênfase é no gerenciador de objetos, que é geralmente proprietário
- Tendência a um maior apoio em padrões, sistemas abertos e filosofia cliente-servidor

Exemplos: APIC, Smallworld

3.3.6 Desktop Mapping

Sistemas *desktop mapping* são uma classe de aplicações de geoprocessamento que se concentram em facilitar as atividades de apresentação de informações sob o formato de mapas. Não são, apesar disto, sistemas adequados para atividades de cartografia automatizada, pois não contam em geral com recursos muito sofisticados em termos de edição e entrada de dados. Também não são adequados para gerenciar um grande volume de informações, uma vez que sua estrutura de arquivos tende a ser bastante simples, e é freqüente a utilização direta de arquivos gráficos ou alfanuméricos de outros aplicativos, tais como AutoCAD, Excel, Access, dBASE e outros (Figura 3.7). Quando os dados são codificados no formato proprietário do sistema, no entanto, pode-se ter alguns recursos voltados à melhoria do desempenho, tais como indexação espacial.

O forte desta classe de aplicações está precisamente na facilidade de integração de dados de diversas fontes, além das excelentes facilidades para produção de mapas temáticos plotados. Como se trata de aplicações voltadas especificamente para o usuário final, ou seja, aquele profissional de uma determinada área de interesse que deseja produzir um mapa para compor um relatório, ou mesmo para facilitar alguma análise espacial, são em geral ferramentas desenvolvidas no ambiente Windows. Têm custos relativamente baixos, apresentando constante tendência de queda. No entanto, vêm nos últimos tempos apresentando a tendência a incorporar cada vez mais funções, de modo que alguns já estão-se intitulando *desktop SIG*.

A interface com o usuário, como no caso de outras aplicações Windows, pode ser customizada com o auxílio de uma linguagem de programação simples, em geral no estilo VisualBasic. Esta linguagem também permite a criação de alguns tipos de funções e aplicações limitadas.

A comunicação destes sistemas com outras aplicações pode em geral ser conseguida utilizando alguns dos recursos mais comuns do Windows, como OLE (*Object Linking and Embedding*), DDE (*Dynamic Data Exchange*) e ODBC (*Open Database Connectivity*).

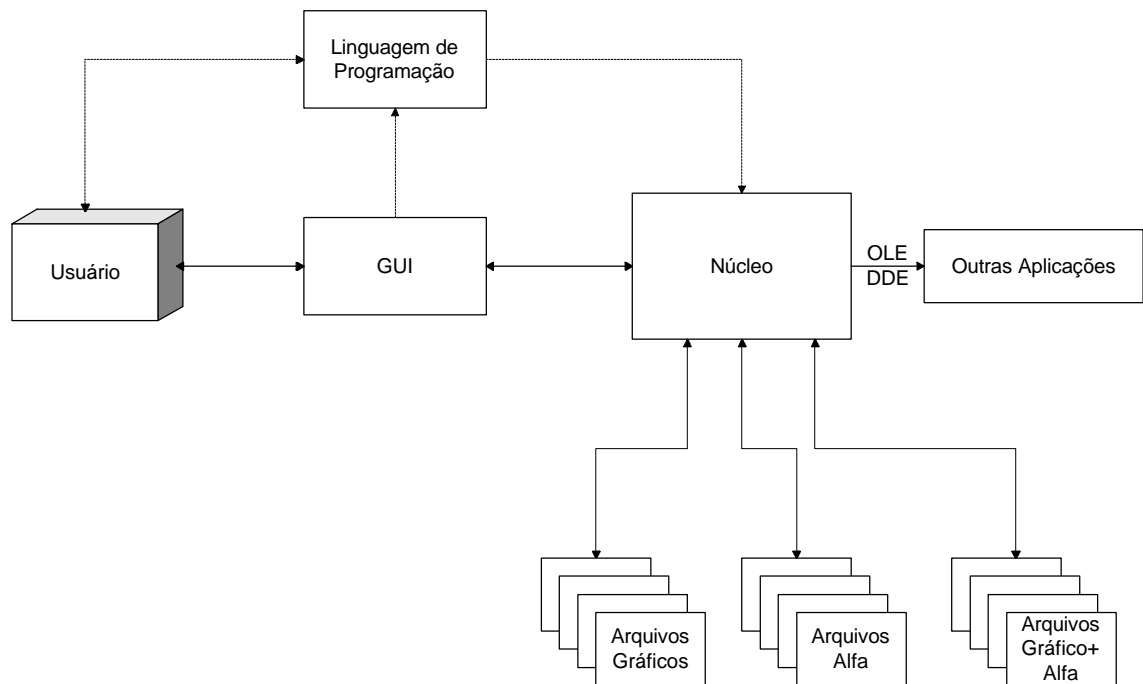


Figura 3.7 - Desktop mapping

Resumo das características principais:

- Geralmente baseado em micro, em ambiente Windows, concentra esforços em uma boa interface de usuário e em recursos para produção de mapas para apresentação
- Funcionamento utilizando arquivos externos, desestruturados e independentes
- Ausência de um forte gerenciador de informações gráficas ou alfanuméricas, mas pode em geral comunicar-se com gerenciadores existentes

Exemplos: MapInfo, Maptitude

3.3.7 SIG Baseado em Imagens

Esta é uma classe de aplicações em que o verdadeiro “banco de dados” está na imagem e seus atributos. Assim, não existe um SGBD propriamente dito, apenas um conjunto de arquivos de imagem, codificados de maneira conveniente, tanto em termos de ocupação de espaço em disco quanto em termos de facilidades de recuperação (Figura 3.8).

No entanto, muitas vezes é necessário associar um conjunto de informações alfanuméricas a uma imagem ou a partes dela. O recurso que é geralmente empregado por este tipo de SIG é a criação de objetos vetoriais, que podem ou não ser apresentados em sobreposição à imagem. Estes objetos podem ser dos tipos usuais, ou seja, pontos, linhas ou áreas, mas em no caso de áreas e linhas existe um “centróide”, que é um único ponto contido na linha ou área, e que é escolhido para ser o “ponto de referência” dos dados alfanuméricos correspondentes. Assim, cada elemento geográfico com possibilidade de associação a dados alfanuméricos é associado ao centróide, que por sua vez está representado no banco de dados alfanumérico, em geral relacional.

Estes sistemas podem ou não possuir linguagem de programação, uma vez que a funcionalidade que interessa mais diretamente ao usuário está mais ligada à área de processamento digital de imagens. No entanto, são dotados de interfaces gráficas com o usuário, que transmitem os comandos do usuário ao núcleo.

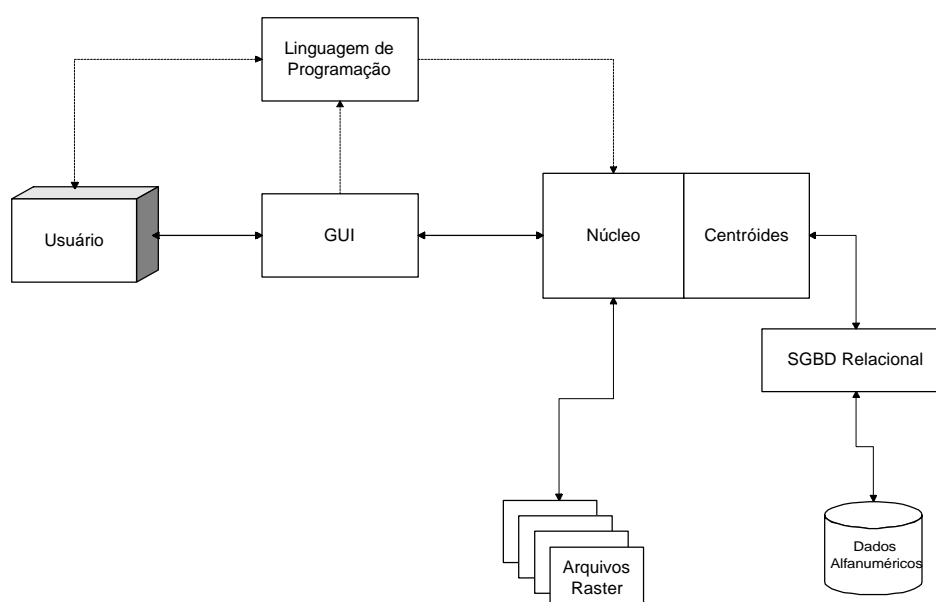


Figura 3.8 - SIG baseado em imagens

Resumo das características principais:

- Informações gráficas são geralmente armazenadas como arquivos independentes, devido aos grandes volumes
- Comunica-se com um banco de dados relacional externo por meio de “vetores” que são definidos sobre a imagem

Exemplos: SPANS, IDRISI, ERDAS.

3.3.8 SIG Integrado (Matrizes-Vetores)

Na área ambiental, onde é grande a necessidade de integração de dados de diferentes formatos, como imagens, mapas temáticos e modelos de terreno, uma das tendências vem sendo o desenvolvimento de tecnologias que permitam o tratamento simultâneo de dados matriciais (grades e imagens), com dados vetoriais. Devido à grande quantidade de armazenamento necessária para imagens, e dado que os SGBDs de mercado ainda não possuem suporte eficiente para este tipo de dados, os SIGs integrados são, na maior parte dos casos, uma extensão do modelo de "arquitetura dual" para incluir gerenciamento de arquivos gráficos no formato matricial ("raster").

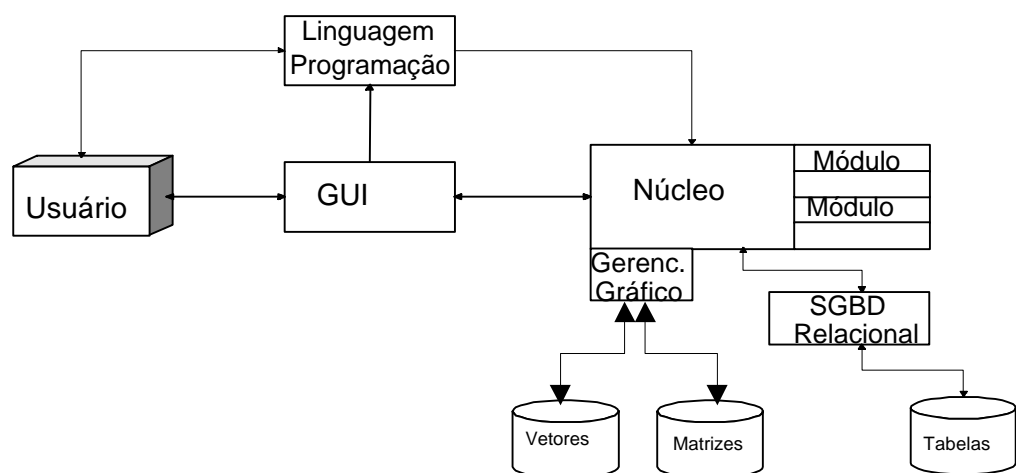


Figura 3.9 - SIG Integrado

Resumo das características principais:

- Gerenciamento em separado de dados gráficos e tabelas
- Armazenamento de gráficos em estruturas proprietárias
- Armazenamento de dados alfanuméricos em banco de dados relacional
- Capacidade de processar dados vetoriais, grades e imagens

Exemplos: SPRING, ARC/VIEW (com extensões "Spatial Analyst" e "Image Extension").

3.3.9 Acesso a Dados Geográficos via Internet

Uma das linhas de pesquisa e desenvolvimento em geoprocessamento que mais vem despertando o interesse da comunidade é o acesso a dados geográficos via Internet. Como em qualquer linha de desenvolvimento recente, existem diversos tipos de enfoques e nenhum vencedor claro.

Uma das alternativas mais adotadas consiste em oferecer ao usuário, através de um *browser*, um formulário para preenchimento. Neste formulário são solicitadas informações quanto à região geográfica de interesse (muitas vezes solicitando uma referência explícita a um número de mapa), à composição do mapa (camadas que deverão aparecer) e mesmo alguns elementos de composição visual (cores, espessura de linhas, cores ou hachuras de preenchimento). Quando o usuário termina o preenchimento do formulário, as informações são transmitidas para um servidor, que recupera os dados necessários e converte o mapa final para um formato de imagem, como GIF ou JPEG. Esta imagem é então inserida numa página Web criada instantaneamente, e transmitida para o usuário. Este processo é talvez o mais natural do ponto de vista dos *browsers*, uma vez que lida com a apresentação de imagens, coisa que qualquer *browser* é capaz de fazer. No entanto, é uma alternativa problemática, por diversos motivos. Em primeiro lugar, porque não deixa o usuário “navegar” interativamente pelo mapa. Além disso, a transmissão de imagens é em geral demorada, e realizada de forma repetitiva tende a sobrecarregar os recursos de rede. Por fim, existe o problema de sobrecarga no servidor, que precisa construir o mapa em formato imagem, geralmente a partir de um banco de dados vetorial, e transmiti-lo para o cliente. Note-se que qualquer operação simples, como *zoom* ou *pan*, exige a formação de um novo mapa-imagem e nova transmissão.

Outra alternativa é a que apresenta para o usuário um mapa chave, solicitando que indique, com o *mouse*, qual é a região de seu interesse. Esta abordagem permite um grau um pouco maior de flexibilidade, mas não resolve os problemas principais da alternativa anterior, ou seja, custos de processamento e transmissão, além de não

resolver completamente o problema de navegação. Em ambos os casos, o grau de interatividade com o usuário na escolha da região desejada é muito baixo, e o resultado está restrito a um modelo de fragmentação do espaço que foi previamente decidido.

Mais interessante do que a transmissão de imagens seria a transmissão de objetos geográficos com representação vetorial. Desta maneira, o usuário poderia ser livre para decidir a região de interesse, bem como para ativar ou desativar as camadas que deseja. Idealmente, os objetos vetoriais transmitidos seriam armazenados na memória da máquina cliente, para que pudessem ser reaproveitados no caso de operações de *zoom* ou *pan*, ganhando tempo para aumentar a interatividade. Outra possibilidade interessante é a aplicação ao mapa vetorial do conceito de “hipermapa”, simulando nos símbolos e objetos vetoriais disponíveis a operação dos *links* de hipertexto comuns nas páginas da Web. Assim, bastaria por exemplo clicar sobre o símbolo de um hospital para consultar seus dados alfanuméricos associados.

A transmissão de dados geográficos em formato vetorial pela Internet tem um obstáculo: nenhum dos *browsers*, as ferramentas de navegação na Internet por excelência, está preparado para receber e apresentar informações neste formato. Para que isto seja possível, existem duas alternativas. A primeira, que vem sendo adotada por diversos desenvolvedores de SIG, consiste em criar um *plug-in*, ou seja, um programa que funciona no computador do usuário, conectado ao *browser*. Este *plug-in* reconhece os dados vetoriais à medida em que chegam, geralmente agrupados em um arquivo com extensão padronizada, e os exibe na tela. Esta alternativa tem a desvantagem de exigir a transmissão (*download*) dos *plug-ins* a partir do *site* do desenvolvedor, o que pode ser uma operação demorada (os *plug-ins* mais comuns têm por volta de 1 Mbyte). Além disso, exige a execução de um procedimento de instalação. Como os *plug-ins* são específicos para os principais *browsers* do mercado, que estão em constante evolução, é preciso atualizá-los periodicamente.

A outra alternativa consiste em criar uma aplicação na linguagem Java [2], que será transmitida no momento do acesso e executada na máquina do usuário, dispensando procedimentos complicados de instalação ou mesmo a ocupação de área em disco. A aplicação desaparece da máquina do usuário no momento em que é desativada. Assim, novas versões não precisam ser distribuídas, pois estarão disponíveis instantaneamente a partir do momento de sua instalação no servidor. Os dados são recebidos e tratados objeto por objeto, facilitando a implementação de caches locais. Cada objeto precisa ser transmitido uma única vez, sendo que operações posteriores de *zoom* ou *pan* podem apenas utilizar os dados já presentes na cache. Um exemplo desta arquitetura está apresentado na Figura 3.9.

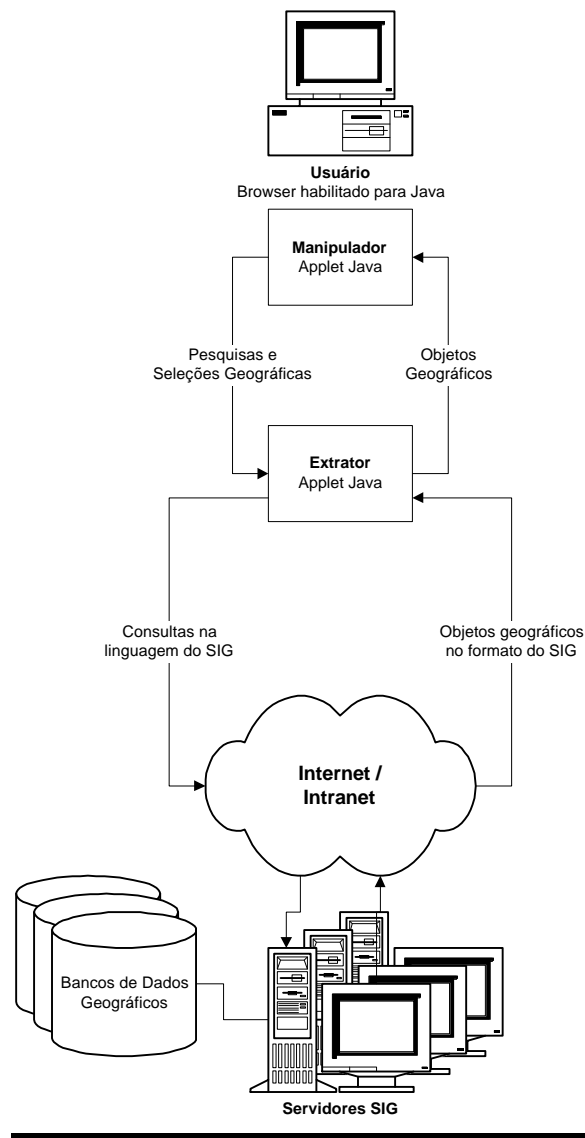


Figura 3.9 - Acesso a dados geográficos via Internet

3.3.10 Open GIS: Interoperabilidade em GIS

A quantidade de dados geográficos disponíveis em formato digital é bastante grande, e vem crescendo rapidamente. Durante o período em que estes dados geográficos vêm sendo coletados (aproximadamente nos últimos 30 anos), diferentes alternativas tecnológicas foram adotadas para a aquisição, o armazenamento, o processamento, a análise e a visualização destes dados, em geral em esforços isolados e independentes uns dos outros.

Com a evolução do geoprocessamento, é cada vez mais marcante a necessidade de se utilizar estes dados, cuja coleta e manutenção são bastante caros, para o maior número de aplicações diferentes possível. Por exemplo, se uma prefeitura mapeia em um GIS as ruas da cidade, porque não utilizar estes dados na companhia de energia elétrica, ou na companhia de telecomunicações? Muitas vezes isto não é possível, ou pelo menos é dificultado fortemente, pela adoção de diferentes plataformas de hardware e software, cada uma das quais utilizando um formato ou conjunto de formatos de armazenamento das informações geográficas digitais. Transferir dados de um formato para o outro nem sempre é simples, mas poderia ser realizado utilizando programas tradutores, capazes de ler as informações codificadas em um formato específico e regravá-las em um formato padrão, e vice-versa. No entanto, a experiência mostra que raramente se consegue uma tradução perfeita, livre de erros. Além disso, os formatos padronizados hoje utilizados têm uma capacidade muitas vezes insuficiente para representar todos os detalhes das informações geográficas que são necessários.

Outra situação que pode ocorrer é aquela em que todos os usuários dispõem do mesmo GIS, mas os métodos e padrões utilizados para a coleta e a manutenção dos dados inviabilizam sua utilização em conjunto. Por exemplo, um dos usuários pode ter um grau de exigência maior com relação à precisão cartográfica que os demais. Outros problemas que podem impedir ou inviabilizar o intercâmbio de informações incluem diferenças de sistemas de projeção ou de *datum*, unidades de medida, métodos para produção de estimativas, e ainda diferenças entre os conceitos utilizados por cada usuário na criação e manutenção de seus dados. Para completar, ainda poderão existir dificuldades no que diz respeito às políticas de disponibilização dos dados adotadas por cada usuário: mídia de gravação, política de comercialização de dados, limitações quanto ao repasse dos dados para terceiros, e assim por diante.

Todas estas dificuldades estão no caminho da interoperabilidade entre aplicações distintas de geoprocessamento, e ocorrem em todo o mundo. Para buscar uma solução para estes problemas, foi criado em 1994 o *Open GIS Consortium* (OGC), a partir da associação de representantes dos desenvolvedores de software, das universidades e dos diversos níveis de governo, provenientes de diversos países, especialmente os Estados Unidos e a Europa. Este consórcio está elaborando um padrão denominado OGIS (*Open Geodata Interoperability Specification*), que é uma especificação abrangente da arquitetura de software para acesso distribuído a dados geo-espaciais e a recursos de geoprocessamento em geral [1]. Esta arquitetura é composta de três partes principais:

- ***Open Geodata Model*** (OGM), que busca uma maneira comum de representar a Terra e fenômenos relacionados a ela, matematicamente e conceitualmente;

- **OGIS Services Model**, que é um modelo de especificação para a implementação de serviços de acesso a dados geográficos, incluindo seu gerenciamento, manipulação, representação e compartilhamento;
- **Information Communities Model**, um arcabouço para utilização do OGM e do OGIS Services Model para resolver não apenas os problemas técnicos de interoperabilidade, mas também os problemas inter-institucionais que interferem no processo.

A idéia principal por trás do OGIS é o estabelecimento de um padrão comum para transferência de dados geográficos entre aplicações, estabelecendo uma “camada” de padronização entre clientes e servidores de informações geográficas. Isto possibilitará o acesso a qualquer banco de dados geográfico (cujo gerenciador atenda ao modelo OGIS) por parte de qualquer aplicação, como um GIS, um CAD ou um software *Desktop mapping*. O servidor poderá mesmo ser um SGBD relacional, um SGBD orientado a objetos, ou mesmo o gerenciador geográfico proprietário de algum software, como o ARC/INFO ou o Vision. Assim, usuários de GIS que dispõem de um produto específico poderiam acessar dados mantidos em uma ampla variedade de produtos, através de uma interface padronizada.

3.4 FUNCIONALIDADE

3.4.1 Funcionalidade Básica

De modo geral, cada GIS foi originalmente projetado para resolver um conjunto específico de problemas, tendo depois evoluído para se tornar uma ferramenta de uso mais amplo. Esta vocação original dos softwares não limita, propriamente, seu escopo de aplicação, mas o fato é que cada um terá seus pontos fortes e pontos fracos. No entanto, existem funções que são características dos GIS, e que podem ser encontradas em qualquer software. O que varia, no caso, é a qualidade e a confiabilidade da implementação. De qualquer forma, a disponibilidade destes tipos de recursos pode ser suficiente para garantir o sucesso de muitas aplicações. Em geral, qualquer GIS é capaz de:

1. Representar graficamente informações de natureza espacial, associando a estes gráficos informações alfanuméricas tradicionais. Representar informações gráficas sob a forma de vetores (pontos, linhas e polígonos) e/ou imagens digitais (matrizes de pixels).
2. Recuperar informações com base em critérios alfanuméricos, à semelhança de um sistema de gerenciamento de bancos de dados tradicional, e com base em relações espaciais topológicas, tais como continência, adjacência e interceptação.
3. Realizar operações de aritmética de polígonos, tais como união, interseção e diferença. Gerar polígonos paralelos (*buffers*) ao redor de elementos ponto, linha e polígono.
4. Limitar o acesso e controlar a entrada de dados através de um modelo de dados, previamente construído.
5. Oferecer recursos para a visualização dos dados geográficos na tela do computador, utilizando para isto uma variedade de cores.
6. Interagir com o usuário através de uma interface amigável, geralmente gráfica.
7. Recuperar de forma ágil as informações geográficas, com o uso de algoritmos de indexação espacial.
8. Possibilitar a importação e exportação de dados de/para outros sistemas semelhantes, ou para outros softwares gráficos.
9. Oferecer recursos para a entrada e manutenção de dados, utilizando equipamentos como mouse, mesa digitalizadora e *scanner*.

10. Oferecer recursos para a composição de saídas e geração de resultados sob a forma de mapas, gráficos e tabelas, para uma variedade de dispositivos, como impressoras e *plotters*.
11. Oferecer recursos para o desenvolvimento de aplicativos específicos, de acordo com as necessidades do usuário, utilizando para isto alguma linguagem de programação, inclusive possibilitando a customização da interface do GIS com o usuário.

Todos estes recursos podem ser agrupados em categorias, para facilitar a comparação entre diferentes sistemas. Estas categorias básicas são: entrada de dados, gerenciamento de informações, recuperação de informações, manipulação e análise, e exibição e produção de saídas. Cada uma destas categorias será apresentada a seguir.

3.4.2 *Entrada de Dados*

Ao contrário de sistemas de banco de dados convencionais, o GIS é capaz de armazenar informações variadas, de natureza gráfica, como vetores e imagens. Para isto, é necessário que o GIS conte com módulos ou interfaces que permitam que o usuário possa incorporar dados ao GIS e visualizar graficamente estes dados. Além disto, o sistema precisa ser capaz de detectar falhas e incorreções nos dados gráficos, e sinalizá-los para o usuário antes de deixar que dados incorretos ou inconsistentes sejam incorporados ao banco de dados geográfico. Em resumo, o GIS precisa ser capaz de:

1. Permitir a digitalização de dados gráficos em formato vetorial, provendo os meios para associação (ou digitação) das informações alfanuméricas correspondentes. Para isto, precisa permitir a utilização de quaisquer tipos de dispositivos de entrada de dados, como mesas digitalizadoras, mouse, teclado (digitação de coordenadas), etc.;
2. Permitir a associação de imagens digitais ao banco de dados, através de recursos de georreferenciamento de imagens ou mesmo através da integração da imagem ao banco. Para isto, precisa ser capaz de converter ou traduzir arquivos de imagem codificados em diversos formatos distintos para o formato adotado por ele;
3. Realizar análises de consistência sobre os dados vetoriais, visando detectar incorreções na topologia ou inconsistências com relação ao modelo de dados. Estas incorreções incluem: erros de fechamento topológico (elementos poligonais), superposições indesejáveis, undershoots, overshoots, etc.;
4. Realizar procedimentos de “limpeza” ou correção sobre os dados adquiridos, visando melhorar sua qualidade e prepará-los para a incorporação ao banco de dados geográfico. Estes procedimentos incluem *edge matching*, eliminação de vértices desnecessários, suavização de curvas, etc.;

5. Receber, converter e tratar dados provenientes de outros sistemas de informação, geográficos ou não, gráficos ou não, a partir de arquivos de formato padronizado.

As funções de entrada de dados continuam a demandar uma fração desproporcionada dos recursos para a implantação de um GIS [11]. Seu custo é às vezes um impedimento para a adoção de GIS em organizações. O que distingue os vários enfoques com relação à entrada de dados é o grau de automatização alcançado. Processos manuais são bastante propensos a erros, apesar da sofisticação dos dispositivos e software disponíveis, e a solução destes erros por procedimentos automáticos é lenta e custosa. A digitalização por processos mais automatizados (digitalização semi-automática e automática) é economicamente interessante e vai se tornar cada vez mais viável, à medida em que cresce o custo de mão-de-obra e decresce o custo de equipamentos e software.

3.4.3 Gerenciamento e Recuperação de Informações

Uma vez formada a base de dados geográficos, o GIS precisa ser capaz de gerenciá-la. Isto significa ser capaz de:

- manter a consistência da base de dados através das operações realizadas pelos usuários;
- controlar o acesso concorrente (simultâneo) aos dados;
- garantir a integridade da relação gráfico-alfa;
- executar operações de backup e recuperação de informações;
- garantir a recuperação total ou parcial do banco em caso de falhas;
- garantir a segurança no acesso às informações contidas no banco, impedindo acessos não autorizados e limitando o acesso a dados sensíveis.

De modo geral, todas as tarefas acima são típicas de sistemas gerenciadores de bancos de dados de primeira linha. No caso de GIS, existe a complexidade adicional da incorporação de dados gráficos e da necessidade de garantia da integridade gráfico-alfa.

Naturalmente, o GIS precisa garantir aos usuários o acesso eficiente e rápido às informações que ele gerencia. Para isto, é necessário dispor de alguns recursos que viabilizem a execução da tarefa, notadamente recursos e técnicas que organizem a informação no banco de dados de maneira inteligente e que privilegiem a eficiência na recuperação de informações. Estas técnicas incluem a indexação espacial, que procura organizar as informações por proximidade geográfica. Também são necessários recursos que facilitem a formulação de consultas por parte do usuário. Estes tipicamente incluem uma linguagem de pesquisa, como o SQL, enriquecido por comandos e operadores de

natureza espacial, e recursos de interface gráfica com o usuário, que procuram evitar que o usuário tenha que decorar seqüências de comandos e dominar a sintaxe de uma linguagem complexa.

3.4.4 Manipulação e Análise

As funções de manipulação e análise de dados geográficos podem ser agrupadas de acordo com o tipo de dado tratado (correspondente a uma geometria distinta): *análise geográfica, processamento de imagens, modelagem de terreno, redes, geodésia e fotogrametria*, produção cartográfica. A seguir apresentaremos uma breve descrição destas funções.

- *Análise Geográfica*: permite a combinação de informações temáticas. Pode ser realizada no domínio vetorial ou domínio matricial (“raster”). Um conjunto importante de procedimentos de análise geográfica foi definido por Tomlin (1990). Denominado “Álgebra de Mapas”, estas definições são a base de implementações de operadores de análise em diferentes sistemas.

Estas funções incluem:

- Reclassificação;
 - Intersecção (“overlay”);
 - Operações, booleanas e matemáticas entre mapas; e
 - Consulta ao banco de dados.
-
- *Processamento Digital de Imagens*: tratamento de imagens de satélite e de “scanners”. Com o advento de Satélites de Alta Resolução e de técnicas de Fotogrametria Digital, as imagens de satélite e aerotransportadas estão se transformando cada vez mais úteis para estudos ambientais e cadastrais. Entre as funções necessárias estão:
 - Realce por modificação de histograma;
 - Filtragem espacial;
 - Classificação estatística por máxima verossimilhança;
 - Rotação espectral (componentes principais);
 - Transformação IHS-RGB; e
 - Registro.

- *Modelagem Numérica do Terreno*: Permite cálculo de declividade, volume, cortes transversais, linha de visada. Fundamental para aplicações de engenharia, o conjunto básico consta de:
 - Determinação do modelo (grade regular ou triangular) a partir de pontos espaçados ou linhas;
 - Geração de mapas de contorno (isolinhas);
 - Geração de mapas de declividade e de aspecto;
 - Visualização 3D (com imagens e temas);
 - Cálculo de volumes; e
 - Análise de perfis.
- *Geodésia e Fotogrametria*: Permite a realização, por software, de procedimentos de restituição e ortorectificação digital, antes, executados por equipamentos analógicos. Fundamental para uso em aplicações de cartografia automatizada e atualização de mapeamentos.
- *Modelagem de Redes*: O pacote mínimo disponível nos sistemas comerciais consiste tipicamente de cálculo de caminho ótimo e crítico. Este pacote básico é insuficiente para a realização da maioria das aplicações, pois cada usuário tem necessidades completamente distintas. No caso de um sistema telefônico, uma questão pode ser: “quais são todos os telefones servidos por uma dada caixa terminal?”. Já para uma rede de água, pode-se perguntar: “Se injetarmos uma dada porcentagem de cloro na caixa d’água de um bairro, qual a concentração final nas casas?”. Deste modo, um sistema de modelagem de redes só terá utilidade para o cliente depois de devidamente adaptado às suas necessidades. Esta adaptação pode levar de seis meses a vários anos. Isto impõe uma característica básica para esta aplicação, ou seja, os sistemas devem ser versáteis, maleáveis, e adaptáveis. No caso das aplicações de redes, a ligação com banco de dados é fundamental. Toda a informação descritiva está guardada no banco de dados, pois os dados espaciais têm formatos relativamente simples. Mais do que em outras aplicações de SIG’s, é na área de redes que o uso de soluções mais modernas como SGBD’s orientados-a-objetos está se impondo.

3.4.5 Exibição e Produção Cartográfica

Os enfoques adotados pelos GIS com relação à saída de dados tendem a se concentrar em duas categorias: a que prioriza a produção e a que prioriza os recursos de consulta. Na primeira, a ênfase é na produção automatizada de mapas em papel, tabelas e relatórios, enquanto na segunda o interesse gira em torno da resposta interativa do sistema às demandas do usuário.

No caso de plotagem, algumas SIG's dispõem de ferramentas para produção de cartas, com recursos muitas vezes altamente sofisticados de apresentação gráfica. Estas ferramentas permitem a definição interativa de uma área de plotagem, colocar legendas, textos explicativos e notas de crédito. Uma biblioteca de símbolos é também atributo fundamental de um sistema de produção. Os pacotes mais sofisticados dispõem de controladores para dispositivos de gravação eletrônica a laser, o que assegura a produção de mapas de alta qualidade.

3.5 NECESSIDADES DE APLICAÇÕES DE GEOPROCESSAMENTO

Numa visão bastante geral, podemos dividir o setor de Geoprocessamento no Brasil em seis segmentos:

- *Cadastral*: aplicações de cadastro urbano e rural, realizadas tipicamente por Prefeituras, em escalas que usualmente variam de 1:1.000 a 1:20.000. A capacidade básica de SIG's para atender este setor é dispor de funções de consulta a bancos de dados espaciais e apresentação de mapas e imagens.
- *Cartografia Automatizada*: realizada por instituições produtoras de mapeamento básico e temático. Neste caso, é essencial dispor de ferramentas de aerofotogrametria digital e técnicas sofisticadas de entrada de dados (como digitalizadores ópticos) e de produção de mapas (como gravadores de filme de alta resolução).
- *Ambiental*: instituições ligadas às áreas de Agricultura, Meio-Ambiente, Ecologia e Planejamento Regional, que lidam com escalas típicas de 1:10.000 a 1:500.000. As capacidades básicas do SIG's para atender a este segmento são: integração de dados, gerenciamento e conversão entre projeções cartográficas, modelagem numérica de terreno, processamento de imagens e geração de cartas.

- *Concessionárias/Redes*: neste segmento, temos as concessionárias de serviços (Água, Energia Elétrica, Telefonia). As escalas de trabalho típicas variam entre 1:1.000 a 1:5.000. Cada aplicação de rede tem características próprias e com alta dependência de cada usuário. Os SIG's para redes devem apresentar duas características básicas: a forte ligação com bancos de dados relacionais e a capacidade de adaptação e personalização. O pacote básico disponível com os SIG's deste segmento é insuficiente para a realização da maioria das aplicações, pois cada usuário tem necessidades completamente distintas. Assim, os usuários deste setor realizam significativos desenvolvimentos nas linguagens de aplicação do SIG escolhido.
- *Planejamento Rural*: neste segmento, temos as empresas agropecuárias que necessitam planejar a produção e distribuição de seus produtos. As escalas de trabalho típicas variam entre 1:1.000 a 1:50.000. Cada aplicação tem características próprias e com alta dependência de cada usuário. Os SIG's devem apresentar duas características básicas: a forte ligação com bancos de dados relacionais e a capacidade de adaptação. O pacote básico disponível com os SIG's deste segmento é insuficiente para a realização da maioria das aplicações, pois cada usuário tem necessidades completamente distintas. Assim, os usuários deste setor realizam significativos desenvolvimentos nas linguagens de aplicação do SIG escolhido.
- *Business Geographic*: neste segmento, temos as empresas que necessitam distribuir equipes de vendas e promoção ou localizar novos nichos de mercado. As escalas de trabalho típicas variam entre 1:1.000 a 1:10.000. Cada aplicação tem características próprias e com alta dependência de cada usuário. As ferramentas de SIG devem prover meios de apresentação dos bancos de dados espaciais para fins de planejamento de negócios. Em especial, os SIG's devem ser adaptados ao cliente, com ferramentas de particionamento e segmentação do espaço para a localização de novos negócios e alocação de equipes.

Pode-se constatar que cada segmento apresenta características próprias e requer soluções específicas, fato nem sempre compreendido pelos usuários. Na área de Geoprocessamento, a distância entre a compra do software e um resultado operacional por parte do usuário é muito grande, pois envolve aspectos como a geração de dados geográficos, disponibilidade de metodologias de trabalho adequadas e mecanismos de divulgação dos resultados obtidos.

Com base na discussão apresentada nesta seção, a Tabela 4.1. apresenta os requisitos típicos de cada grupo de usuário, considerando grandes áreas de aplicação. Não é supérfluo advertir de que se trata de uma indicação de caráter geral e que cada

usuário deverá examinar em detalhe suas necessidades e compará-las com as características dos sistemas disponíveis no mercado.

Tabela 4.1.

Necessidades típicas de aplicações de Geoprocessamento

APLICAÇÃO	ANG	PDI	MNT	RED	BDG	MAP	GEO
Cadastral	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cartografia	-	✓	✓	-	(✓)	✓	✓
Ambiental	✓	✓	✓	(✓)	(✓)	✓	(✓)
Concession.	-	-	-	✓	✓	-	(✓)
Rural	-	✓	✓	(✓)	✓	✓	-
Business	-	-	-	✓	✓	✓	-

Códigos:

ANG = análise geográfica

BDG = consulta a BD. georreferenciados

PDI = processamento digital de imagens

MAP = produção cartográfica

MNT = modelos numéricos de terreno

GEO = geodésia e fotogrametria

RED = modelagem de redes

Legenda: ✓ = normalmente necessário - = usualmente não necessário.

(✓) = necessário para usos específicos .

3.6 DISPONIBILIDADE E CARACTERÍSTICAS DE GIS DO MERCADO

Atualmente, existem representantes brasileiros para praticamente todos os principais sistemas de informação geográfica, disponíveis principalmente nos Estados Unidos e Europa. A tabela abaixo lista alguns dos mais conhecidos sistemas GIS e *desktop mapping* comerciais, indicando as formas de armazenamento de informações gráficas e alfanuméricas, e o tipo de equipamento necessário. Foram intencionalmente deixados de fora os sistemas CAD que podem eventualmente ser utilizados em cartografia automatizada ou coisa semelhante, e também os sistemas dedicados ao sensoriamento remoto. Todos os softwares abaixo relacionados possuem condições para interligação de dados gráficos com dados alfanuméricos, armazenados em bases de dados proprietárias ou não.

GIS Fabricante	Estruturas de Dados	Banco de Dados	Equipamentos	Observações
APIC APIC Systèmes	Vetorial Matricial	Orientado a objetos	UNIX, Windows	Produzido na França, tem muitas instalações na Europa
ARC/INFO ESRI	Vetorial - topológica Matricial	Relacional	UNIX, Windows	Produtos complementares incluem o Arc/CAD (apoiado em AutoCad) e o Arc/View (ferramenta de consulta)
AutoDesk World (AutoDesk)	Vetorial	Relacional	Windows	Capaz de ler diretamente arquivos de diversos GIS
DBMapa MaxiData	Vetorial	xBASE	Windows	Apoiado no MaxiCAD
Genasys Genasys	Matricial Vetorial	Relacional	UNIX, Windows	
GIS Plus Caliper	Vetorial	Relacional	Windows	O TransCAD, especializado em transportes, é baseado no GIS Plus
IDRISI Clarkk University	Matricial	Proprietário	Windows	Muito voltado para Aplicações Ambientais
MapInfo MapInfo	Vetorial	Proprietário, xBASE	Windows	Principalmente utilizado como ferramenta de Desktop Mapping
Maptitude Caliper	Matricial Vetorial	Relacional	Windows	Mais usado como desktop mapping
MGE Intergraph	Vetorial Matricial	Relacional	UNIX, Windows	Baseado no sistema de CAD MicroStation
SPRING INPE	Matricial Vetorial	Relacional	UNIX, Windows	Permite uma integração entre vetores e imagens
Vision*GIS System House	Vetorial Matricial	Relacional	UNIX	pioneiros no armazenamento de gráficos dentro do banco de dados relacional

3.6.1 Critérios para a Escolha de um GIS

De modo geral, cada software foi originalmente projetado para resolver um conjunto específico de problemas em geoprocessamento. Esta vocação original dos softwares não limita, propriamente, seu escopo de aplicação, mas o fato é que cada um terá seus pontos fortes e pontos fracos. Não se pode dizer que qualquer um deles é perfeitamente adequado para qualquer aplicação, nem que corresponde perfeitamente aos objetivos a que teoricamente atende.

Sendo assim, como escolher um GIS adequado às suas necessidades? O melhor caminho é o de focalizar os esforços na identificação destas necessidades, graduando sua importância para a aplicação. Desta forma, será possível analisar objetivamente os softwares candidatos a resolver o problema, pontuando suas aptidões de acordo com a escala de prioridades previamente composta. Conforme já dito, não se deve esperar encontrar um sistema que preencha perfeitamente as necessidades do projeto, pois este sistema provavelmente não existe. A compreensão deste fato deve levar a uma maior flexibilidade na elaboração das especificações para aquisição do software.

Conforme foi visto, a grande variedade de GIS disponíveis no mercado brasileiro exige que um eventual comprador esteja bem a par de suas necessidades, para que seja capaz de especificar o software com sucesso. Características que devem ser investigadas em cada software candidato, de acordo com o interesse, e para testar sua adequação às necessidades do projeto, incluem:

1. Possibilidades de customização da interface com o usuário (redefinição da estrutura de menus e diálogos; inclusão de funções desenvolvidas pelo usuário)
2. Flexibilidade da modelagem de dados
3. Existência ou não de linguagem de programação para desenvolvimento de aplicativos; complexidade e completeza da linguagem de programação
4. Existência ou não de versão em português; disponibilidade de documentação e/ou material de treinamento em português
5. Armazenamento dos dados em base de dados geográfica contínua ou necessidade de fracionamento em mapas
6. Existência ou não de restrições e controles de integridade na conexão gráfico-alfa
7. Existência ou não de sistemas de indexação espacial, para recuperação rápida de informações gráficas; tipo de sistema de indexação espacial
8. Disponibilidade de aplicações prontas, desenvolvidas por terceiros, na área de interesse do projeto

9. Capacidades de importação e exportação de dados
10. Possibilidades de operação em redes heterogêneas de equipamentos (utilização simultânea de equipamentos de diversos fabricantes diferentes)
11. Capacidades de produção de saídas: mapas, cartas, mapas temáticos, gráficos, relatórios, etc.
12. Recursos para conversão de dados
13. Capacidades de operação simultânea por diversos usuários
14. Aderência a padrões de fato ou de direito, principalmente nas áreas de bancos de dados e intercâmbio de informações
15. Recursos de gerenciamento de backups e recuperação de dados
16. Existência ou não de linguagem de consulta à base gráfica/alfanumérica
17. Recursos de processamento de polígonos (operações de união, interseção, etc.)
18. Recursos de detecção e correção de falhas nos dados gráficos (edge-matching, eliminação de undershoots e overshoots, etc.)
19. Variedade de tipos de dispositivos de saída (plotters e impressoras) e de entrada (scanners, mesas digitalizadoras, etc.)
20. Confiabilidade comercial e técnica do representante e sua equipe de suporte.

3.6.2 *Tendências em Software GIS*

Dentro dos caminhos trilhados pelos GIS nos últimos anos, algumas tendências parecem ser definitivas. As principais estão listadas a seguir.

Software de Baixo Custo

A primeira delas é o direcionamento dos produtores de software GIS para o desenvolvimento de alternativas de software bastante simplificados. A idéia é promover uma popularização do uso da informação espacial, através de ferramentas simples e baratas, apoiadas em microcomputadores, que geralmente não funcionam sozinhas, mas acopladas em rede a servidores de dados espaciais mais poderosos. Aumenta a capilaridade, e portanto o alcance, do GIS dentro da organização, a custos bastante reduzidos.

Uso de Imagens

Outra tendência observada é a intensificação do uso de imagens digitais como informação complementar à informação vetorial. Cada vez mais, o uso de imagens (*raster*) torna-se economicamente interessante e tecnicamente viável, pois a evolução do hardware fez com que os custos de armazenamento e processamento de grandes volumes de imagens fossem drasticamente reduzidos. Em especial, espera-se um incremento no uso de ortofotos digitais e imagens de satélite, estas últimas com impulso maior a partir do lançamento de satélites com sensores de resolução mais alta.

Orientação a Objetos

A orientação a objetos é uma tendência mundial em termos de programação e desenvolvimento de sistemas. Aplicados à área de bancos de dados, os conceitos de orientação a objetos levam à definição mais racional, mais próxima do mundo real, de modelos e estruturas de dados. Isto é especialmente benéfico no caso dos GIS, uma vez que as informações que manipulam, devido às suas características espaciais, são difíceis de modelar utilizando as técnicas tradicionais [6]. Modelos de dados geográficos são mais intuitivos para o analista e para o usuário, e seu uso ajudará a reduzir o tempo de desenvolvimento de aplicativos geográficos.

Padronização do Intercâmbio de Dados Geográficos

Mais que uma tendência, a padronização do intercâmbio de dados geográficos tornou-se uma necessidade. Como a tendência de cada organização é adotar o GIS que melhor atende às suas necessidades, a inexistência de normas e padrões para troca de informação geográfica faz com que seja muito mais difícil compartilhar dados e racionalizar esforços de levantamento e tratamento de informações entre usuários de sistemas distintos. Algumas propostas de solução vêm sido colocadas, mas ainda será necessário algum tempo até que este problema seja resolvido.

Dados Geográficos na Internet

Diversos desenvolvedores de GIS têm lançado produtos para prover acesso, via Internet, a bases de dados geográficas. Considerando a crescente popularização da Internet, e a necessidade dos órgãos públicos em viabilizar o acesso do cidadão à informação, este caminho parece ser bastante importante.